
Haase
Feuerungsanlagen

1, Fuel
2, Combustion
3, Furnaces

TD



Die Feuerungsanlagen.

Handbuch

für

Construkteure und Fabrikbesitzer

zur

Anleitung für Ausführungen und für den Betrieb.

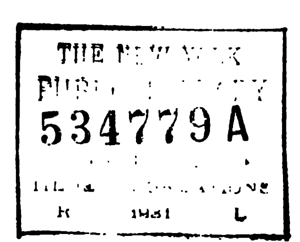
Von

F. H. Haase

geprüfter Civilingenieur, Patentanwalt in Berlin.

Mit 98 Abbildungen.

Leipzig
Verlag von Otto Wigand.
1893.


534779 A

Vorwort.

Wenn ich, trotz der grossen Anzahl von Druckschriften, welche über Feuerungsanlagen existiren, dennoch nicht Bedenken trage diese Anzahl zu vermehren, so geschieht es in dem sichern Bewusstsein, dass eine nicht rein theoretische, parteilose und allen Gebieten der Feuerungstechnik Rechnung tragende Schrift in den letzten 25 Jahren nicht erschienen ist.

Die Grundprincipien der allgemeinen Feuerungstechnik haben seit sehr langer Zeit nur in wenigen Einzelheiten eine Prüfung erfahren und es werden in den meisten neueren Druckschriften vorwiegend Sonderanschauungen, die auf unsicherer Basis beruhen, zur Geltung gebracht. Formeln und Meinungsäusserungen von Fachgelehrten, welche einem früheren Menschenalter angehören, bilden heute noch die Grundlage der Theorie und werden von neueren Schriftstellern ohne jegliche Prüfung selbst in solchen Fällen mit übernommen, in welchen sie eigenen Erfahrungen der Verfasser nicht entsprechen.

In Folge dessen macht sich in den Gebieten der Feuerungstechnik eine tastende Unsicherheit bemerkbar, welche einen allgemeinen Fortschritt nicht aufkommen lässt und lediglich einzelne gute Detailconstruktionen weniger selbstständig denkender Fachleute zeitigt, denen entweder die Lückenhaftigkeit und Fehlerhaftigkeit der Theorie fühlbar geworden ist

oder denen eigene praktische Erfahrung werthvoller erscheint als jede Theorie.

Ich habe mich bemüht die Grundprincipien für eine gesunde Feuerungstechnik Schritt für Schritt zu erforschen und klar zu stellen und bin dabei zu einzelnen Resultaten gelangt, die dem praktisch erfahrenen Feuerungstechniker als Bestätigung persönlicher Anschauungen erscheinen werden, so dass sie ihm eigentlich nichts Neues sagen, obwohl sie mit zumeist vorherrschenden theoretischen Anschauungen in einem gewissen Widerspruch stehen.

Ich nehme nicht das Verdienst für mich in Anspruch, die Fehlerhaftigkeit und Lückenhaftigkeit der bisherigen Theorie zuerst erkannt zu haben, dieses Erkenntniss existirte vielmehr in Fachkreisen schon seit Jahrzehnten und wurde auch seitens hervorragender Fachgelehrter in einzelnen Punkten eingeräumt; aber man hat sich bisher viel zu sehr mit Details oder Einzelheiten befasst und dabei versäumt, das Erkenntniss für die Allgemeinheit fruchtbringend zu machen.

Für Feuerungsanlagen gilt ganz dasselbe wie für Lüftungsanlagen; es lässt sich nicht alles nach derselben Schablone machen, ohne dass man dabei sehr verschiedene Resultate erzielt. Eine Anlage für kleinen Betrieb muss ganz anders ausgeführt werden als eine solche für grossen Betrieb, wenn man bei beiden an Anlagekosten sparen will und obgleich bei dem grossen Betrieb die Betriebskosten weit gewichtiger in die Waage fallen als bei dem kleinen, so sind doch Mängel der Ausführung bei dem ersteren sehr oft nicht so belangreich als bei dem letzteren, weil der relative Effektverlust sich bei jenem nicht so hoch beläuft wie bei diesem.

Die Vorerhitzung sekundär eingeführter Verbrennungsluft wird selbst von anerkannt tüchtigen Feuerungstechnikern unrationell vorgenommen und die Möglichkeit einer guten Mischung

der Sekundärluft mit den Feuergasen oft überhaupt nicht geboten oder an ungeeigneter Stelle bewirkt.

Die Mischung allein genügt aber auch nicht um einen guten Nutzeffekt zu erzielen, sondern es ist hierzu das gleichzeitige Bestehen einer hohen Temperatur erforderlich; man erzielt sonst höchstens eine sogenannte Rauchverbrennung auf kostspielige Weise, indem dann die entweichenden Verbrennungsgase grössere Mengen unsichtbaren aber sehr werthvollen Kohlenoxydgases enthalten. Befolgt man die Grundprincipien einer vortheilhaften Feuerungseinrichtung und Feuerung, so erzielt man immer auch gleichzeitig unsichtbare Verbrennungsgase auf rationelle Weise. Es gehört hierzu aber immer auch eine sorgfältige Bedienung der Feuerung.

Berlin im Juni 1893.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniss.

Erster Abschnitt.

Grundlehre der Wärme- und Temperaturentwickelung.

Zweiter Abschnitt.

Anleitung zur Beurtheilung des Nutzwerthes der Brennmaterialien.

Dritter Abschnitt.

Anleitung zur Ausführung zweckmässiger Feuerungsanlagen.

Vierter Abschnitt.

Besprechung einer Anzahl besonders ausgewählter Feuerungseinrichtungen und Vorrichtungen für solche.

Erster Abschnitt.

Grundlehre der Wärme- und Temperaturentwickelung.

I. Allgemeines über die Berechnung des absoluten Heizwerthes der Brennmaterialien.

Wenn man die sogenannten Brennmaterialien in Anwesenheit von atmosphärischer Luft erhitzt, so beginnen sie sich zu zersetzen und mit dem in der letzteren enthaltenen Sauerstoff Sauerstoffverbindungen zu bilden d. h. zu verbrennen.

Dabei entwickeln sie, je nach den Arten der entstehenden Verbrennungsprodukte, mehr oder weniger grosse Wärmemengen.

Als Maasseinheit hierfür gilt diejenige Wärmemenge, vermittelst deren die Temperatur eines Kilogramms Wasser, ohne Aggregatzustandsänderung, unter mittlerem atmosphärischem Druck um einen Temperaturgrad des hunderttheiligen Thermometers (Celsius) erhöht werden kann und diese Maasseinheit nennt man eine „Calorie".

Die Hauptbestandtheile aller Brennmaterialien sind:

C d. i. Kohlenstoff und

H d. i. Wasserstoff

und diese bilden, wenn sie in der Feuerung ohne genügende Vermischung mit Luft erhitzt werden, ausser Verbrennungs-

produkten, auch verschiedene Kohlenwasserstoffverbindungen miteinander, und zwar hauptsächlich:

CH_4 d. i. Grubengas oder Methan und

C_2H_4 d. i. ölbildendes Gas oder Aethylen.

Diese beiden Gasarten sind auch im Leuchtgas vorwiegend vertreten.

Werden die Brennmaterialien bei ihrer Erhitzung entweder sogleich oder nach Entstehung der soeben genannten Gasarten hinreichend mit Luft gemischt, so bilden sich die Sauerstoffverbindungen:

CO d. i. Kohlenoxydgas,

CO_2 d. i. Kohlensäure (richtiger genannt Kohlensäureanhydrit)

und H_2O d. i. Wasser.

Ueber den Sauerstoffverbrauch bei Entstehung dieser Verbrennungsprodukte und über die sich dabei entwickelnde Wärmemenge giebt die folgende Tabelle I Auskunft.

Tabelle I.

Es verbindet sich

Kgr.		Kgr.			Kgr.			Calorien
1 C	mit	1,335	O	zu	2,335	CO	und entwickelt dabei	2474
1 CO	„	0,57	O	„	1,57	CO_2	„ „ „	2403
1 C	„	2,67	O	„	3,67	CO_2	„ „ „	8080
1 H	„	8,00	O	„	9,00	H_2O	„ „ „	34462
1 CH_4	„	4,00	O	„	2,75	CO_2 u. 2,25 Kgr. H_2O	„ „ „	14675
1 C_2H_4	„	3,43	O	„	3,15	CO_2 „ 1,28 „ H_2O	„ „ „	11860

Man ersieht aus dieser Tabelle ohne Weiteres, dass ein Brennmaterial dann am meisten Wärme entwickelt, wenn sein ganzer Kohlenstoffgehalt (C) zu Kohlensäure (CO_2) und sein ganzer Wasserstoffgehalt (H) zu Wasser (H_2O) verbrennt. Man sagt dann, das Brennmaterial verbrenne vollständig.

In der Regel enthalten die Brennmaterialien ausser Kohlenstoff und Wasserstoff auch noch Sauerstoff, und zwar hauptsächlich mit Wasserstoff zu Wasser gebunden, so dass, wenn eine bestimmte Gewichtsmenge Brennmaterial x Kgr. Sauerstoff enthält, man annehmen kann, dass von den zugleich darin enthaltenen n Kgr. Wasserstoff $\frac{x}{8}$ Kgr. an die x Kgr.

Sauerstoff gebunden sind (weil ja nach vorstehender Tabelle je 8 Kgr. O mit je 1 Kgr. H je 9 Kgr. H_2O bilden).

Wenn demnach eine bestimmte Gewichtsmenge Brennmaterial (nach chemischer Analyse) *m* Kgr. Kohlenstoff, *n* Kgr. Wasserstoff und *x* Kgr. Sauerstoff enthält, so kann diese Gewichtsmenge Brennmaterial eine Wärmemenge

$$W = 8080 \times mC + (nH - \frac{x}{8} O) \times 34\,462 \text{ Calorien} \quad (1)$$

entwickeln.

Gewöhnlich setzt man in diese Formeln nur die in einem Kilogramm des Brennmaterials enthaltenen Gewichtsmengen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff ein, so dass also mC, nH und xO nur Bruchtheile eines Kilogramms genannter Bestandtheile und W danach die Wärmeentwickelung eines Kilogramms des Brennmaterials bedeuten, was auch bei den folgenden Betrachtungen vorausgesetzt wird.

Die nach dieser Formel berechenbare Wärmemenge kann sich, wie die folgenden Betrachtungen ergeben werden, in den Feuerungsanlagen selbst niemals vollständig als fühlbare Wärme entwickeln, wenn das Brennmaterial an Wasserstoff gebundenen Sauerstoff, d. i. Wasser enthält. Man nennt desshalb die nach dieser Formel berechenbare Wärmemenge (auf die Gewichtseinheit des Brennmaterials bezogen) im Allgemeinen den theoretischen Heizwerth des Brennmaterials.

Da indessen diese Wärmemenge doch faktisch vollständig verwerthbar ist und nur in den Feuerungsanlagen selbst nicht vollständig als fühlbare Wärme zur Geltung gelangt, so kann man dieselbe auch den **absoluten** Heizwerth des Brennmaterials nennen, was denn auch vielfach geschieht.

II. Die latente Wärme.

Um den wirklichen Heizwerth eines Brennmaterials beurtheilen zu können, sind mehrere Vorbetrachtungen nöthig.

Zunächst hat man zu beachten, dass beim Verbrennen eines Brennmaterials sowohl das in demselben enthaltene

Wasser, als auch das durch Verbrennung selbst entstehende Wasser in die Dampfform übergeführt wird und auch als Dampf aus der Feuerungsanlage abzieht.

Würde sich der Wasserdampf in der Feuerungsanlage selbst zu Wasser verdichten (condensiren), so würde er für jedes Kilogramm an die Feuerungsanlage (selbst wenn die Wassertropfen eine Temperatur von 10° C. behielten) 540 Calorien abgeben, welche durch den dampfförmigen Aggregatzustand gebunden sind und für die Umgebung nicht eher fühlbar werden als bis die Dampfform in die tropfbar flüssige Form übergeht.

Man erkennt hiernach, dass für jedes Kilogramm Wasser, welches während der Verbrennung eines Brennmaterials entsteht und verdampft, 540 Calorien von der sich entwickelnden Wärme für die Wasserdampfbildung entzogen werden und überhaupt nicht fühlbar werden.

Aehnlich wie mit dem Wasser und den wasserbildenden Bestandtheilen des Brennmaterials verhält es sich auch mit dem festen Kohlenstoff desselben. Zwar wird dieser nicht als solcher vergast, aber es entwickeln sich aus ihm währenddem er mit Wasserstoff oder mit Sauerstoff Verbindungen eingeht, gasförmige Produkte und dieser Entwickelungsgang hat eine sehr bedeutende Bindung von Wärme zur Folge, die in der Feuerungsanlage nicht wieder in fühlbare Wärme übergeht.

Wie bedeutend die Wärmemenge ist, welche durch die Aggregatzustandsänderung des Kohlenstoffs von der Wärmeentwickelung des Brennstoffs entzogen wird, kann man schon aus der Tabelle I entnehmen, nach welcher die Verbindung von 1 Kgr. festem Kohlenstoff mit den ersten 1,335 Kgr. Sauerstoff (zu Kohlenoxydgas) nur eine Wärmeentwickelung von 2474 Calorien zur Folge hat, während das Hinzutreten der zweiten 1,335 Kgr. Sauerstoff (für die Bildung von Kohlensäure) die Wärmeentwickelung auf 8080 Calorien erhöht. Unter Berücksichtigung der dabei in Frage kommenden Gewichtsverhältnisse lässt sich die Wärmemenge, welche für die Ueber-

führung des Kohlenstoffs in Kohlenoxydgas von der sonst fühlbaren Wärmeentwickelung entzogen wird, annähernd berechnen.

Nicht allein durch die Ueberführung eines festen oder eines flüssigen Körpers in den gasförmigen Zustand, sondern auch durch Ueberführung eines festen Körpers in den flüssigen Zustand wird Wärme gebunden, welche bei der Umkehrung des Aggregatzustandes jeweils wieder gewonnen werden kann. So ist es z. B. bekannt, dass man durch Vermischung eines Kilogramms Eis mit 1 Kgr. Wasser von 79° C. 2 Kgr. Wasser von 0° erhält und dass somit beim Schmelzen des Eises 79 Calorien der Umgebung entzogen werden, welche nicht mehr fühlbar sind, während man umgekehrt, um aus Wasser von 0° Eis von 0° zu erzeugen, diesem Wasser für je 1 Kgr. 79 Calorien künstlich wieder entziehen muss.

Man nennt die zur Aggregatzustandsänderung aufgewandte, für die Umgebung nicht fühlbare Wärmemenge, die latente Wärme des höheren Aggregatzustandes (wenn man unter dem höheren Aggregatzustand den gasförmigen und bezw. den flüssigen, gegenüber dem als niedrigeren zu bezeichnenden flüssigen und festen Aggregatzustand versteht).

Wie schon aus den vorstehenden Betrachtungen erkennbar, spielt die latente Wärme in der Feuerungstechnik eine grosse Rolle und ist es daher von grosser Wichtigkeit, dieselbe für alle durch Wärme in ihrem Aggregatzustand veränderbaren Materialien zu kennen. Leider ist dieselbe aber bisher nur für eine beschränkte Anzahl Materialien genau bestimmt worden.

Von den bisher bekannt gewordenen latenten Wärmen sind in den beiden folgenden Tabellen II und III die für den Feuerungstechniker wichtigen, bezogen auf je 1 Kgr. des betreffenden Materials, angegeben. Ausserdem sind in diesen Tabellen die Schmelz- und bezw. Vergasungstemperaturen der für den Feuerungstechniker wichtigsten Materialien, bezogen auf mittleren atmosphärischen Druck von 76 mm Quecksilbersäule, angeführt.

Tabelle II.

Material		Schmelztemperatur in Celsiusgraden	mittlere latente Flüssigkeitswärme in Calorien
Blei		325	5,86
Eis		0	79,25
Eisen	weisses Gusseisen	1050—1100	33
	graues „	1100—1200	23
„	Schmiedeisen	1600—1800	ungefähr 50
Kupfer		1200	121,2
Platin		1779	27,2
Schlacke (vom Hochofenbetrieb)		1030	50
Schwefel		115	9,4
Stahl	leichtflüssiger	1300—1400	ungefähr 38
	Bessemer-Stahl	1700	„ 45
Zink		415	28,13
Zinn		228	13,3

Tabelle III.

Material		Vergasungs- bezw. Verdampfungstemperatur in Celsiusgraden	mittlere latente Vergasungswärme in Calorien
Alkohol		bis zu 79,7	214
Kohle (chemisch reiner Kohlenstoff)		etwa 2500	3317
Platin		„ 2260	—
Quecksilber		bis zu 360	62
Wasser		„ „ 100	m. d. Temp. abnehmend*)
Terpentinöl		157	80
Bestandtheile des Theers der Gasanstalten	Wasser	80—100	
	leichte Theeröle	80—150	
	schwere Theeröle	150—200	
	Rückstände	200—1000	

*) Vergl. S. 10 u. 16—17.

III. Die Wärmecapacität oder die specifische Wärme.

Der Heizwerth eines Brennmaterials kann auch nach seiner Wärmeabgabe an die Umgebung beurtheilt werden, wenn man dabei zugleich den in den abziehenden Verbrennungsgasen noch enthaltenen Wärmevorrath und unverbrannten flüchtigen Brennstoff mitberücksichtigt.

Die Wärmeaufnahme und der Wärmegehalt eines festen, flüssigen oder gasförmigen Körpers wird beurtheilt nach seiner Temperatur und nach dem zu seiner Temperaturerhöhung um je einen Celsiusgrad nöthigen Wärmeaufwand. Man nennt diesen Wärmeaufwand allgemein die Wärmecapacität oder die specifische Wärme des betreffenden Körpers, versteht aber speciell darunter entweder die auf ein Kilogramm oder auch (bei Gasen und Dämpfen) die auf ein Kubikmeter des betreffenden Körpers entfallende Wärmeaufnahme desselben für je einen Celsiusgrad Temperaturerhöhung und spricht demgemäss auch von Gewichtscapacität und von Raumcapacität.

Allgemein ist zu bemerken, dass die Temperaturerhöhung eines und desselben Körpers umso weniger Wärmeaufnahme desselben erfordert, je stärkerem Druck derselbe ausgesetzt ist und dass man desshalb nur diejenigen Wärmecapacitäten verschiedener Körper (insbesondere von Flüssigkeiten und Gasen) miteinander vergleichen kann, welche sich auf den gleichen Belastungs- bezw. Druckzustand dieser Körper beziehen. Wie man bei Kenntniss der Wärmecapacität eines Körpers unter bestimmtem Druck die Wärmecapacität desselben Körpers für einen anderen Druck ermitteln kann, ist in einem späteren Abschnitt näher zu untersuchen.

Im Allgemeinen ist die Wärmecapacität der Körper um so kleiner, je dichter dieselben sind. Es gilt dies jedoch nur von Körpern gleichen Aggregatzustandes, nicht aber von Körpern verschiedener Aggregatzustände; denn Wasser, welches doch gewiss dichter ist als Wasserdampf, besitzt eine bedeutend grössere Wärmecapacität pro Kilogramm als Dampf.

Uebrigens wächst in der Regel die Wärmecapacität eines und desselben Körpers bei einem und demselben Aggregatzustand etwas mit seiner Temperatur; am meisten gilt dies von tropfbar flüssigen Körpern, weniger von festen Körpern und am wenigsten von permanent gasförmigen; bei Dämpfen speciell aber nimmt die Wärmecapacität mit der Temperaturzunahme ab.

In der folgenden Tabelle IV sind die mittleren Wärmecapacitäten verschiedener Materialien für Temperaturveränderungen zwischen 0° und 300° C. (insofern hierbei noch nicht eine Aggregatzustandsänderung eintritt), bezogen auf 1 Kgr. des Materials und auf mittleren atmosphärischen Druck (von 760 mm Quecksilbersäule), angegeben.

Tabelle IV.

Material	mittlere Wärme-capacität in Calorien	Material	mittlere Wärme-capacität in Calorien	Material	mittlere Wärme-capacität in Calorien
Graphit für niedrige Temperatur	0,202	Antimon	0,055	Glas	0,190
„ für sehr hohe Temperatur	0,467	*Blei	0,032	*Phosphor	0,189
*Holz	0,5 bis 0,65	Eisen		*Schwefel	0,203
Holzkohle	0,242	(Schmiedeisen)	0,114	Ziegelstein	0,241
Kohle { Steinkohle	0,242	(Gusseisen)	0,130		
Kohle { Retortenkohle	0,204	Gold	0,033		
Kohlenstoff, chemisch reiner, bei		Kupfer	0,100		
niedriger Temperatur	0,1469	Messing	0,098		
Kohlenstoff, chemisch reiner, bei		Platin	0,035		
hoher Temperatur	0,459	Quecksilber	0,035		
*Wasser	1,000	Silber	0,061		
Grubengas (Methan)	0,328	Stahl	0,120		
Kohlenoxydgas	0,237	Zink	0,102		
Kohlensäure	0,217	*Zinn	0,057		
Luft, atmosphärische	0,238				
Oelbildendes Gas (C_2H_4)	0,421				
Stickstoff	0,244				
Wasserdampf siehe S. 10					
Wasserstoffgas	3,405				

*) Bei den mit diesem Zeichen bezeichneten Materialien sind die angegebenen Wärmecapacitäten nur bis zu 100° C. richtig.

Multiplicirt man die in dieser Tabelle angegebenen Wärmecapacitäten mit dem Gewicht eines Kubikmeters oder eines anderen Volumens des betreffenden Materials bei mittlerem atmosphärischem Druck, so erhält man ohne Weiteres die auf das in Betrachtung stehende Volumen bezogene Wärmecapacität. Hierbei muss man aber beachten, dass das Gewicht

eines bestimmten Volumens sich, insbesondere bei gasförmigen Körpern, erheblich mit der Temperatur ändert.

Für Rechnungen, wie sie hier in Betracht kommen, kann man annehmen, dass die Volumenzunahme eines Körpers (mit Ausnahme von Dämpfen) jeweils der Temperaturzunahme direkt proportional ist, so lange der betreffende Körper durch seine Temperaturänderung weder in seiner Zusammensetzung, noch in seinem Aggregatzustand verändert wird. Die Volumenzunahme für 1 Grad Celsius entspricht bei jedem Körper einem bestimmten Bruchtheil seines ursprünglichen Volumens, welchen Bruchtheil man den Ausdehnungscoefficienten nennt. Bezeichnet man denselben mit α und das Volumen eines Körpers bei 0° unter mittlerem atmosphärischem Druck (von 760 mm Quecksilbersäule) mit v_0, so ist seine Volumenzunahme bei Erhöhung seiner Temperatur um 1° C. auszudrücken durch $\alpha \times v_0$ und seine Volumenzunahme bei einer Temperaturzunahme von 0° bis t° C., auszudrücken durch $\alpha \times t \times v_0$, sein wirkliches Volumen bei t° also

$$v_0 + \alpha \times t \times v_0 = v_0 . (1 + \alpha . t)$$

Die folgende Tabelle V giebt einige Ausdehnungscoefficienten an; wo verschiedene Angaben gemacht sind, ist zu beachten, dass der Ausdehnungscoefficient um so grösser ist, je dichter das Material ist.

Tabelle V.

Material	*Volumen-Ausdehnungs-coefficient (mittlerer)	Material	*Volumen-Ausdehnungs-coefficient (mittlerer)
Graphit	0,000024	Blei	0,00008850
Holz	0,000015—0,000029	Eisen.	
Holzkohle, beste	0,000030—0,000036	Schmiedeisen .	0,00004405
Gas-Retortenkohle	im Mittel 0,000017	Gusseisen . .	0,00003225
Steinkohle . . . „ „	0,000084	Glas	0,00003030
Wasser	0,000466	Kupfer	0,00005700
atmosphärische Luft und sonstige permanente Gase	0,003665	Platin	0,00003000
		Stahl, ungehärtet	0,00003340
		„ gehärtet .	0,00004090
		Ziegel	0,000015—0,0000165

*) Die Längenausdehnung beträgt 1/3 der Volumenausdehnung.
Die Flächenausdehnung „ 2/3 „ „

Da das Gewicht eines Körpers sich bei seiner Erhitzung nicht ändert, so lange sich seine Zusammensetzung nicht ändert, so ist das Gewicht eines bestimmten Volumens dieses Körpers immer wieder ohne Weiteres berechenbar, wenn man die Volumenänderung kennt, welche die Temperaturänderung verursacht hat, indem man nämlich einfach das durch Erhitzen erweiterte Volumen in das bekannte Gewicht dividirt.

Derartige Rechnungen sind aber im Allgemeinen entbehrlich und man kann sich in der Regel mit den auf 1 Kgr. bezogenen Wärmecapacitäten begnügen, welche die Tabelle IV angiebt.

In der Tabelle IV wurde absichtlich die Wärmecapacität des Wasserdampfes nicht angegeben, weil dieselbe sehr veränderlich ist und weil man bei Ermittelung der Wärmemenge des aus einer Feuerungsanlage entweichenden Wasserdampfes auch seine latente Wärme in Rechnung ziehen muss, wenn das Wasser, aus welchem er entstanden ist, als solches schon im Brennmaterial enthalten war. Wie in der Tabelle III angedeutet wurde, ist auch die latente Wärme des Wasserdampfes veränderlich; wenn es daher nicht nöthig ist diese aus der Rechnung auszuscheiden, so ist es bequemer sich einer Formel zur Ermittelung der Gesammtwärme eines Kilogramms Wasserdampfes zu bedienen, welche nach Regnault die Form

$$\mathfrak{W}_\mathfrak{d} = 606{,}5 + 0{,}305\ t - t_0 \text{ Calorien} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

erhält, wenn t die Temperatur des Dampfes (beispielsweise beim Entweichen aus der Feuerungsanlage) und t_0 die äussere Lufttemperatur bezeichnet.

Nach dieser Formel kann man übrigens auch einen praktisch zulässigen Werth für die Wärmecapacität unter bestimmten Verhältnissen ermitteln, wie später gezeigt wird*).

---

*) Vergl. S. 16 u. 17.

IV. Die zur Verbrennung der Hauptbestandtheile der Brennmaterialien erforderliche Luftmenge.

Dividirt man die Anzahl der Calorien, welche ein Brennmaterial zu entwickeln vermag, in die dazu nöthige Sauerstoffgewichtsmenge (O), so erhält man diejenige Sauerstoffgewichtsmenge, welche das Brennmaterial zur Erzeugung einer Calorie gebraucht, und da ein Kilogramm atmosphärischer Luft nur 0,21 Kgr. Sauerstoff enthält, so hat man das Ergebniss der soeben erwähnten Division mit $\frac{1}{0,21} = 4,762$ zu multipliciren, um diejenige Luftgewichtsmenge zu finden, welche dem Brennmaterial den für die Erzeugung einer Calorie nöthigen Sauerstoff abgeben kann.

Da also beispielsweise nach Tabelle I Kohlenstoff (C) bei seiner vollständigen Verbrennung zu Kohlensäure (CO_2) mit 2,67 Kgr. Sauerstoff 8080 Calorien entwickelt, so braucht der Kohlenstoff zur Entwickelung einer Calorie bei vollständiger Verbrennung $\frac{2,67}{8080} \times 4,762 = 0,001573$ Kgr. Luft.

Will man wissen wie viel Luft das Brennmaterial pro Kilogramm zu seiner Verbrennung gebraucht, so braucht man natürlich nur die Anzahl der Kilogramme O, mit welchen es sich dabei verbindet, mit 4,762 zu multipliciren. So findet man also beispielsweise, dass 1 Kilogramm Kohlenstoff bei vollständiger Verbrennung zu Kohlensäure $2,67 \times 4,762 = 12,715$ Kilogramm Luft verbraucht. Beachtet man, dass bei 0^0 unter mittlerem atmosphärischem Druck (von 760 mm Quecksilbersäule)

1 Kubikmeter	Kohlenoxydgas (CO)	1,25438	Kgr.	wiegt,
1	„	Wasserstoffgas (H)	0,08957	„	„
1	„	Grubengas (CH_4)	0,72418	„	„
und 1	„	ölbildendes Gas (C_2H_4)	1,25438	„	„

so kann man aus der Tabelle I die folgende Tabelle VI ableiten.

Tabelle VI.

Es verbraucht	bei Verbrennung zu	für die Entwickelung einer Calorie	pro Kilogramm des Brennstoffs	pro Kubikmeter des Brennstoffs unter mittlerem atm. Druck bei 0° seiner Temperatur
C	CO	0,00257 Kgr. Luft	6,357 Kgr. Luft	
CO	CO_2	0,00113 „ „	2,714 „ „	3,40 Kgr. Luft
C	CO_2	0,00157 „ „	12,714 „ „	
H	H_2O	0,00111 „ „	38,096 „ „	3,41 „ „
CH_4	CO_2 u. H_2O	0,00130 „ „	19,048 „ „	13,80 „ „
C_2H_4	CO_2 u. H_2O	0,00138 „ „	16,334 „ „	20,49 „ „

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass zur Erzeugung einer Calorie durch Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenoxydgas fast doppelt so viel Verbrennungsluft (0,00257 Kgr.) erforderlich ist, als wenn die Calorie durch vollständige Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlensäure (0,00157) erzeugt wird.

Aus diesem Umstand ist zu entnehmen, dass Kohle, welche ja zum grössten Theil aus Kohlenstoff besteht, trotz reichlicher Luftzuführung unter Umständen doch unvollkommen verbrennen kann; ja es lässt sich sogar daraus schliessen, dass selbst bei einer Luftbemessung, wie sie für die erwünschte Wärmeentwickelung bei Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd nothwendig wäre, ein Theil dieses Kohlenstoffs in Kohlensäure, ein anderer Theil in Kohlenoxyd und ein dritter Theil auf Kosten gleichzeitig anwesenden Wasserstoffs in Kohlenwasserstoffe (oder auch lediglich in fliegende Kohlenpartikelchen, d. i. „Russ") übergeführt und mit den beiden ersten Produkten aus der Feuerstelle abgeführt werden kann. In der That kommt der letztere Fall, insbe-
ndere bei hoher Schüttung mancher Kohlensorten auf weit-
tigem Rost, häufig genug vor; bei einigermaassen verstän-
Heizen kann man aber bei Zuführung so grosser Luft-
immer bewirken, dass die Kohle zum grössten Theil
ensäure übergeführt wird und nur geringe Mengen
vdgases und anderer noch brennbarer Gase mit der
e abgehen. Dieses letztere Resultat kann aber

auch erzielt werden, wenn man nur 20 bis 30 Procent mehr Verbrennungsluft zuführt als zur Erzielung der erwünschten Wärmeproduktion (nach Tabelle VI) bei vollständiger Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure erforderlich ist, und zwar erreicht man dieses Resultat dadurch, dass man für möglichst innige Mischung der Feuergase mit der Verbrennungsluft bei einer Temperaturhöhe sorgt, welche nicht unter einem bestimmten Grade betragen darf*).

Aus der Tabelle VI kann man auch ersehen, dass die Erzeugung einer bestimmten Wärmemenge am wenigsten Verbrennungsluft erfordert, wenn sie durch Verbrennung von Kohlenoxydgas und von Wasserstoffgas bewirkt wird und dass überhaupt die Verbrennung gasförmiger Brennstoffe zur Erzeugung einer bestimmten Wärmemenge weniger Verbrennungsluft benöthigt, als die eine gleiche Wärmeentwickelung ergebende Verbrennung von festem Brennmaterial (Kohlenstoff).

Will man das Volumen der zur Verbrennung erforderlichen Luftgewichtsmenge bestimmen, so hat man nur nöthig zu berücksichtigen, dass ein Kubikmeter Luft bei 0° C. unter mittlerem atmosphärischem Druck von 760 mm Quecksilbersäule 1,29318 Kgr. wiegt und dass demnach 1 Kgr. Luft unter solchen Verhältnissen einen Rauminhalt von $\frac{1}{1,29318} =$ *0,775 Kbm.* einnimmt, welches Volumen bei Erwärmung bis auf t° C. in ein Volumen

$$0,775 . (1 + 0,003665 . t)$$

also beispielsweise bei Erwärmung auf 100° C. in ein Volumen $0,775 \times 1,3665 = 1,059$ Kbm. übergeht.

Soll die Luft unter anderem als atmosphärischem Druck in den Verbrennungsraum eingeführt werden, so hat man nur zu berücksichtigen, dass das Volumen einer Luftgewichtsmenge dem Druck, unter welchem sich diese befindet, umgekehrt proportional ist. Da nun der Druck gewöhnlich in Wassersäule angegeben wird und 760 mm Quecksilbersäule einer

---

*) Vergl. S. 70, sowie 3. Abschn. IV. 2.

Wassersäule von 10,344 Metern gleichwerthig ist, so hätte man als Kubikraum eines Kilogramms Luft ganz allgemein

$$l = \frac{0{,}775 . (1 + 0{,}003665 . t) \times 10{,}334}{B + h} \text{ Kbm.} \qquad (3)$$

wenn h den in Metern gemessenen manometrischen Ueberdruck über den atmosphärischen Druck in Wassersäule und B den jeweiligen Stand eines Wasserbarometers (der Stand des Quecksilberbarometers mit $\frac{10344}{760} = 13{,}737$ multiplicirt) in Metern bezeichnet.

Wenn also beispielsweise der Barometerstand 770 mm Quecksilber- oder 10480 mm Wassersäule ist, so nimmt Luft von 100° C. unter einem manometrischen Ueberdruck von 1000 mm Wassersäule ein Volumen von $\frac{0{,}775 \times 1{,}3665 \times 10{,}334}{11{,}480}$ $= 0{,}953$ Kbm. ein.

V. Der Wärmeeffekt der Brennmaterialien.

Versteht man unter dem Wärmeeffekt (auch gen. „calorischer Effekt") eines Brennmaterials die von demselben an den Heizraum wirklich abgegebene Wärmemenge, so hat man zur Ermittelung desselben zu beachten, dass die ganze Wärmemenge und etwaige Wärmeentwickelungsfähigkeit, welche die Rauchgase und sonstige Produkte und Rückstände des Verbrennungsprozesses (als Asche, Schlackentheile und Brennmaterialabfälle) mit sich ins Freie nehmen, dem Heizraum nicht zugutkommen. Man hat demnach die ganze latente Wärme dieser Produkte und Rückstände, sowie die ganze Wärmemenge, welche dieselben zur Beschaffung ihres Temperaturüberschusses gegenüber der Aussenlufttemperatur in sich aufgenommen haben, von der gesammten Wärmeentwickelung des Brennmaterials in Abzug zu bringen, um den soeben definirten Wärmeeffekt dieses Brennmaterials zu bestimmen.

Was die latente Wärme betrifft, so ist zu bemerken, dass — wie schon unter II erwähnt — die latente Wärme der durch Verbrennung selbst entstehenden Gase in den Calorienangaben der Tabelle I und demnach auch in der Formel (1) schon berücksichtigt ist; dagegen ist die latente Wärme, welche durch Verdampfung des im Brennmaterial vorhandenen Wassergehaltes bedingt wird, als Effektverlust besonders in Rechnung zu ziehen.

Danach lässt sich ohne Weiteres folgern, dass unter sonst gleichen Verhältnissen der Verlust an Wärmeeffekt eines Brennmaterials für eine Feuerungsanlage wohl um so grösser sein wird, je mehr Wasser das Brennmaterial im Feuerraume ausscheidet. So richtig diese Folgerung im Allgemeinen auch thatsächlich ist, so bleibt doch zu beachten, dass bei manchen Kohlenarten ein kleiner Wasserzusatz einerseits den Abfall durch den Rost zu vermindern und andererseits die Feuerraumtemperatur zu begünstigen vermag und aus diesem Grunde den Wärmeeffekt der betreffenden Kohlenarten zu verbessern im Stande ist. Jedenfalls aber übersieht man, dass der Wärmeeffekt eines Brennmaterials, bei dessen Verbrennung grössere Mengen Wassers als Bestandtheil desselben verdampft werden, mit Vorsicht beurtheilt werden muss.

In der Regel macht indessen die latente Wärme des aus dem Brennmaterial verdampfenden Wassers nur einen sehr kleinen Theil des gesammten Effektverlustes aus, während der grösste Theil desselben durch die Temperaturhöhe der ins Freie entweichenden Verbrennungsgase verursacht wird.

Bei allen mit Kamin (Schornstein) versehenen Feuerungsanlagen darf die Temperatur der Rauchgase in dem ersteren nicht unter eine gewisse Grenze herabsinken und sie muss eine um so höhere sein, je grösser die Widerstände sind, welche die nöthige Verbrennungsluft beim Durchströmen der Brennmaterialschichte und die Feuer- und bezw. Rauchgase beim Durchströmen der Feuerzüge und des Kamins selbst vorfinden und je niedriger dieser letztere im Verhältniss zu der Summe der genannten Widerstände ist.

Solche Widerstände, sowie auch verschiedenartige Betriebsmaassnahmen verursachen, dass man sehr oft Rauchgase mit 200 bis 300° C., ja sogar mit noch höherer Temperatur entweichen lässt.

Der hierdurch bedingte Wärmeverlust ist natürlich um so grösser, je grösser die Wärmecapacität (vergl. Tabelle IV) der entweichenden Rauchgase und je grösser die Rauchgasgewichtsmenge ist, welche auf eine vom Brennmaterial entwickelte Calorie entfällt.

Die auf eine Calorie entfallende Rauchgasgewichtsmenge ist mit Hilfe der Tabellen I und VI im Ganzen ermittelbar, und beachtet man, dass die Verbrennungsluft-Gewichtsmenge 79 Prozente Stickstoff enthält, welcher unzersetzt mit derselben Temperatur wie die übrigen Rauchgasbestandtheile entweicht, so sind auch die einzelnen Rauchgasbestandtheile selbst ihrem Gewichte nach angebbar, sofern die Verbrennung der Brennstoffe nach Angabe der gen. Tabellen erfolgt und nicht etwa ein Theil dieser Brennstoffe unzersetzt mit den Rauchgasen entweicht, in welchem Falle diese letzteren chemisch analysirt werden müssten, um ihre Bestandtheile festzustellen. Unter der genannten Voraussetzung lässt sich also der an die entweichenden Rauchgase gebundene Wärmeverlust ermitteln.

Indessen bleibt doch bezüglich des Wasserdampfgehaltes der Rauchgase noch eine besondere Erwägung nothwendig.

Wenn man nicht gewöhnliches Brennmaterial, sondern die in Tabelle I angeführten Brennstoffe in Betracht zieht, so ist die latente Wärme des Wasserdampfes nicht als Wärmeeffektverlust von den in dieser Tabelle angegebenen Calorienzahlen in Abzug zu bringen, weil sie in diesen Calorienzahlen ohnehin schon berücksichtigt ist; es ist deshalb nothwendig die Wärmecapacität des Dampfes selbst für die verschiedenen Temperaturen der Rauchgase zu bestimmen, und dies kann in lgender Weise geschehen.

Da der Dampf doch jedenfalls zuerst auf 100° C. abkühlen vor er condensirt, so kann man seine in diesem Temnd bestehende latente Wärme, d. i. 540 Calorien oend in Rechnung bringen, und da seine Gesammt-

wärme pro Kilogramm nach Formel (2)*) zu bestimmen ist, so ergiebt sich die Wärmecapacität des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur, wenn man von dem Rechnungsergebniss nach dieser Formel 540 Calorien abzieht und den Rest durch die Dampftemperatur dividirt.

Wenn also beispielsweise die Rauchgase mit einer Temperatur von 300° C. abziehen und Wasserdampf enthalten, welcher natürlich die gleiche Temperatur hat, so nimmt für eine Aussentemperatur $t_0 = 0°$ die Formel (2) den Werth

$$\mathfrak{W}_{\mathfrak{d}} = 606{,}5 + 0{,}305 \times 300 - 0 = 698 \text{ Calorien}$$

an und zieht man davon 540 Calorien ab und dividirt den Rest durch 300, so erhält man als praktisch zulässigen Werth der Wärmecapacität des Dampfes $\frac{158}{300} = 0{,}527$, wogegen man für entweichenden Dampf von 200° C. die in Rechnung zu führende Wärmecapacität 0,637 und für entweichenden Dampf von 100° C. für die Rechnung als Wärmecapacität 0,97 findet.

Nach der Tabelle I ergiebt sich bei Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenoxydgas für jede erzeugte Calorie $\frac{2{,}335}{2474}$ $= 0{,}00094$ Kgr. Kohlenoxydgas und nach Tabelle VI ergiebt sich dazu $0{,}00257 \times 0{,}79 = 0{,}00203$ Kgr. Stickstoff als Beigabe.

Da nun nach Tabelle IV die Wärmecapacität von Kohlenoxydgas 0,237 und die Wärmecapacität von Stickstoff 0,244 ist, so findet man, wenn die Temperatur der Aussenluft 0° und die der entweichenden Rauchgase 200° C. beträgt, einen Wärmeeffektverlust $(0{,}00094 \times 0{,}237 + 0{,}00203 \times 0{,}244) \times 200$ $= 0{,}1436$ Calorien für jede erzeugte Calorie, also einen Verlust der mehr als 14 Prozent der erzeugten Wärme ausmacht. Will man den Wärmeeffektverlust pro Kilogramm des zu Kohlenoxydgas verbrannten Kohlenstoffs ermitteln, so braucht man nur die Anzahl der hierbei erzeugten Wärmemenge, d. i. 2474 Calorien mit dem auf die erzeugte Calorie entfallenden Wärmeeffektverlust 0,1436 zu multipliciren, und will man

*) Auf S. 10.

den Wärmeeffektverlust für ein Kubikmeter verbrannten Brennmaterials ermitteln, so braucht man das Ergebniss der letzteren Rechnungsart nur noch mit dem Gewicht eines Kubikmeters des Brennmaterials zu multipliciren. Zieht man den Verlust pro Calorie von 1 ab und multiplicirt den Rest mit der Zahl der entwickelten Calorien, so erhält man bezw. den wirklichen *Wärmeeffekt* pro Kilogramm oder pro Kubikmeter. Auf solche Weise sind die Angaben der folgenden Tabelle VII (siehe S. 19) berechnet worden.

Aus dieser Tabelle, welche in der ersten Reihe keine Rücksicht darauf nimmt, dass das als Rauchgas entweichende Kohlenoxydgas selbst noch ein sehr werthvolles Brennmaterial ist, ersieht man, dass auch bei Nichtberücksichtigung dieses Umstandes der übrige Wärmeverlust bei Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenoxydgas bedeutend grösser ist als bei jeder anderen Wärmeerzeugung.

In zweiter Linie ersieht man aus der vorliegenden Tabelle, *dass der auf eine Calorie Wärmeerzeugung entfallende Wärmeeffektverlust bei Verbrennung von Wasserstoffgas grösser ist als bei Verbrennung von Kohlenoxydgas* und dass der Wärmeeffekt, bezogen auf das Kubikmeter, beim Wasserstoffgas nur sehr wenig grösser ist als beim Kohlenoxydgas.

Ferner ersieht man aus der vorliegenden Tabelle VII, dass festes Brennmaterial, als welches man ja Kohlenstoff immer anzusehen hat, selbst bei vollständiger Verbrennung zu Kohlensäure mit geringster Luftmenge (was schwer erreichbar ist) unvortheilhafter verbrennt als jeder gasförmige Brennstoff, sobald man mit hohen Temperaturen der entweichenden Verbrennungsgase zu rechnen hat. Dazu kommt noch hinzu, dass, wenn bei Verbrennung festen Brennmaterials die Rauchgase
…chtbar gefärbt entweichen, dieselben auch noch feste, ihnen
…ärbung gebende Beimischungen (nämlich unverbrannte
…rtikelchen, d. i. „Russ“ und hin und wieder auch
…nthalten, deren Wärmegehalt und bezw. Wärme-
…gkeit den Verlust ganz erheblich vermehren, so
…bten Rauchgase bei grossen Betrieben oft ein

Tabelle VII.

bei Verbrennung von	bei Verbrennung zu	Wärmeeffektverlust in Calorien: für jede erzeugte Calorie bei 1° C. Temperaturdifferenz zwischen den Rauchgasen und der Aussenluft	Wärmeeffekt in Calorien: für jedes Kilogramm verbrannten Brennstoffs bei einer Temperaturdifferenz zwischen den Rauchgasen und der Aussenluft von 100° C.	200° C.	300° C.	für jedes Kubikmeter verbrannten Brennstoffs bei einer Temperaturdifferenz zwischen den Rauchgasen und der Aussenluft von 100° C.	200° C.	300° C.
C	CO	0,0007180	2296	2119	1941			
CO	CO_2	0,0003489	2319	2236	2151	2908	2803	2698
C	CO_2	0,0004011	7756	7434	7108			
H	H_2O	für die Rauchgastemperatur 100° C. 0,0004663 200° C. 0,0003793 300° C. 0,0003506	32856	31843	30836	2943	2853	2762
CH_4	CO_2 u. H_2O	100° C. 0,0004396 200° C. 0,0003890 300° C. 0,0003717	14030	13533	13039	10160	9801	9443
C_2H_4	CO_2 u. H_2O	100° C. 0,0004278 200° C. 0,0003921 300° C. 0,0003800	11353	10930	10508	14236	13706	13177

ganz beträchtliches Kapital nutzlos den Winden preisgeben.

Ausserdem kommen beim Verfeuern fester Brennmaterialien auch die festen Rückstände in Betracht, welche von Zeit zu Zeit aus dem Aschenfallraum und aus dem Feuerraum selbst mehr oder weniger heiss entfernt werden. Geschieht das Entfernen von Asche und Schlacken nur in vollständig abgekühltem Zustand, so besteht der durch diese Rückstände verursachte Wärmeeffektverlust nur in der zu ihrer Bildung aufgewandten Wärmemenge, welche nur unbedeutend ist. Werden diese Verbrennungsrückstände dagegen heiss abgeführt, so entzieht man mit ihnen oft ganz beträchtliche Wärmemengen der Verwerthung.

Es ist jedoch zu bemerken, dass die als Nebenprodukte mancher industriellen Betriebe entstehenden Schlackenmassen bei der Ermittelung des Wärmeeffektes der Brennmaterialien nicht in Rechnung kommen, weil sie als Bestandtheile des Fabrikates zu betrachten sind.

VI. Der Temperatureffekt oder pyrometrische Effekt der Brennmaterialien.

Dass Wärme und Temperatur ganz verschiedene Begriffe sind, ergaben schon die unter III angestellten Betrachtungen über die Wärmecapacität, welche mit der Temperatur multiplicirt diejenige Wärmemenge ergiebt, welche ein Körper von 1 Kgr. Gewicht (oder, bei Betrachtung der Raumcapacität, ein Körper von der Volumeneinheit) in sich aufnimmt, wenn er von 0° C. in die in Frage stehende Temperatur übergeführt wird.

Ist t_0 die Anfangstemperatur und t die Endtemperatur eines Körpers vom Gewichte *G* Kgr. und seine Wärmecapacität ilogramm) innerhalb der Temperaturgrenzen t_0 und t Grösse c_p, so ist die von dem Körper beim Ueber- zu t^0 aufgenommene Wärmemenge:

$$\times c_p \times t - G \times c_p \times t_0 \text{ Calorien.}$$

Wenn man demnach die an den Körper abgegebene Wärmemenge und seine Anfangstemperatur t_0 kennt, so findet man seine durch die Wärmeaufnahme W erlangte Temperatur als:

$$t = \frac{W + G \times c_p \times t_0}{G \times c_p}.$$

War die Anfangstemperatur $t_0 = 0^0$, so ist die gesuchte Temperatur

$$t = \frac{W}{G \times c_p}.$$

Nach Tabelle I erzeugt 1 Kgr. Kohlenstoff bei seiner Verbrennung zu Kohlenoxydgas 2474 Calorien und es entstehen dabei 2,335 Kgr. Kohlenoxydgas, während zugleich auch neben dem für die Verbrennung aufgenommenen Sauerstoff nach Tabelle I und VI 6,357—1,335 = 5,022 Kilogramm Stickstoff aufgenommen und auf die gleiche Temperatur wie das Kohlenoxydgas selbst gebracht werden.

Denkt man sich nun, dass an sonstige benachbarte Körper keine Wärme abgegeben werde, so wäre die vom Kohlenoxydgas selbst aufgenommene Wärmemenge (weil seine Wärmecapacität pro Kilogramm nach Tabelle IV $c_p = 0,237$ ist) $2,335 \times 0,237 \times (t - t_0)$, wenn t als seine derzeitige Temperatur betrachtet wird und t_0 die Temperatur ist, in welcher der Kohlenstoff und die Verbrennungsluft den Verbrennungsprozess eingehen. Ferner ist die vom Stickstoff aufgenommene Wärmemenge entsprechend der Wärmecapacität 0,244 desselben, $5,022 \times 0,244\ (t - t_0)$. Somit würde denn anscheinend die erzeugte Wärmemenge von 2474 Calorien der Summe der beiden einzelnen Wärmeaufnahmen gleich sein, also

$$2474 = 2,335 \times 0,237 \times (t - t_0) + 5,022 \times 0,244 \times (t - t_0)$$

woraus folgen würde:

$$2474 = 1,7788 \times (t - t_0)$$

oder

$$t = \frac{2474 + 1,7788 \times t_0}{1,7788},$$

so dass man für $t_0 = 0$ erhielte $t = \frac{2474}{1,7788} = 1390,8^0$ Cels.

Indessen ist bei dieser Rechnung eine grosse Vernach-

lässigung begangen worden, indem ja der verbrennende Kohlenstoff nicht die ganze Wärmemenge 2474 Calorien an den Verbrennungsraum abgiebt, sondern ein mehr oder weniger grosser Theil dieser Wärme dem Verbrennungsraum verloren geht. Denkt man sich, dass die erzeugte Wärmemenge wirklich gar keinen anderen Zweck habe als im Inneren eines Ofens eine hohe Temperatur zu erzeugen, wie beispielsweise beim Anheizen eines Kupolofens, und dass dieser Ofen schon auf die höchst erreichbare Temperatur gebracht sei und gar keine Wärme durch seine Wandung hindurchlasse, so bleibt doch immer noch der an die entweichenden Verbrennungsgase gebundene Wärmeverlust übrig.

Allgemein hat man deshalb die Beziehung

Wärmeerzeugung = Wärmeaufnahme seitens der Umgebung + Wärmeverlust

oder *Wärmeerzeugung — Wärmeverlust = Wärmeaufnahme der Umgebung.*

Da nun aber die Differenz links vom Gleichheitszeichen nichts anderes ist als der Wärmeeffekt des Brennmaterials, so hat man zur Bestimmung der Temperatur allgemein:

„*Wärmeeffekt des Brennmaterials = Wärmeaufnahme der Umgebung.*“

Wendet man diese Beziehung auf den Fall des letzten Augenblicks beim Anheizen eines Ofens an, welcher gar keine Wärme durch seine Wandung hindurchlässt und selbst schon auf die bei einfacher Verbrennung höchsterreichbare Temperatur gebracht ist, so findet man als Ergebniss der Rechnung eine Temperatur, welche man *im Falle günstigen Verlaufes des Verbrennungsprozesses* als *Grenzwerth* betrachten kann, dem man sich in praktischen Fällen bis zu einem gewissen Prozentsatze nähern kann und den man deshalb zur Anstellung von Vergleichen zwischen verschiedenen Fällen praktischer Heizung im Auge behalten, aber nie-
als vollständig erreichen kann; wohingegen der Ersatz des
eeffektes durch den absoluten Heizwerth (wie in dem
den Beispiel 2474 Calorien) Resultate ergiebt, welche
n Vergleichen nicht geeignet sind.

Ersetzt man in dem obigen Beispiel den absoluten Heizwerth 2474 durch den Wärmeeffekt der Kohlenoxydgaserzeugung bei Entweichung der Verbrennungsgase mit 100° C., also nach der Tabelle VII durch 2296, so erhält man:

$$t = \frac{2296 + 1{,}7788 \times t_0{}^{*)}}{1{,}7788} = 1290{,}7 + t_0,$$

so dass also für $t_0 = 0^0$ die Temperatur 1290,7° C. als Grenzwerth der höchstens erreichbaren Temperatur zu betrachten wäre, sofern die Verbrennungsgase mit einer Temperatur von 100° C. entweichen.

Uebrigens wurde auch bei der letzten Ermittelung noch eine kleine Vernachlässigung bezüglich des Faktors von t_0 begangen, und zwar mit der Absicht die Uebersichtlichkeit des Entwickelungsganges zu erleichtern.

Für $t_0 = 0^0$ ist die vorstehende Entwickelung correkt; nunmehr hat man aber zu beachten, dass ja nicht Kohlenoxydgas von $t_0{}^0$ in die Feuerung eingeführt wird, sondern Kohlenstoff und Luft und zwar entsprechen den 2296 Calorien 1 Kgr. Kohlenstoff und 6,357 Kgr. Luft. Da nun Kohlenstoff bei niedriger Temperatur die Wärmecapacität 0,147 hat und die Wärmecapacität der Luft 0,238 ist, so führt man gegenüber einer Temperatur 0° die Wärmemenge

$$(1 \times 0{,}147 + 6{,}357 \times 0{,}238)\, t_0 = 1{,}663 \times t_0 \text{ Calorien}$$

in den Feuerraum ein, welche Wärmemenge von der im letzteren vorhandenen, von 0° ab gerechneten, Wärmemenge

$$2{,}335 \times 0{,}237 \times t + 5{,}022 \times 0{,}244 \times t = 1{,}7788 \times t$$

abzuziehen ist, um die von dem Verbrennungsprozess gewonnene Wärmemenge zu erhalten.

Mithin ist für genauere Rechnung zu beachten:

Wärmeeffekt = Wärmeaufnahme der Umgebung von 0° bis zu t°, vermindert um die vom Material in den Feuerraum mitgebrachte Wärme von 0° bis zu $t_0{}^0$ gerechnet**).

*) Noch genauere Rechnung siehe folgende Seite.

**) In den meisten Lehrbüchern über die Technologie der Wärme ist der Begriff der absoluten Temperatur eingeführt, welche von

Demnach erhält man genauer für die Bestimmung der Temperatur bei Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenoxydgas unter Annahme des Entweichens der Verbrennungsgase mit 100° C.

$$2296 = 1{,}7788 \times t - 1{,}663\ t_0$$

woraus folgt

$$t = \frac{2296}{1{,}7788} + \frac{1{,}663}{1{,}7788} \times t_0 = 1290{,}7 + 0{,}935 \times t_0.$$

Da die Anfangstemperatur t_0 hierbei als Summand auftritt, so erkennt man, dass man durch Vorwärmen des Brennstoffs und der Verbrennungsluft höhere Temperaturen erreichen kann, als wenn man ein solches Vorwärmen nicht vornimmt.

Ist die Anfangstemperatur unter 0°, so kommt t_0 als negativ in Rechnung.

Setzt man anstatt des Wärmeeffektes eines Kilogrammes Brennmaterial den von *n* Kilogramm in Rechnung, so muss man natürlich auch das *n*-fache Verbrennungsprodukt und die *n*-fache Gewichtsmenge Luft in Rechnung setzen, man erhält dann beispielsweise

$$2296 \times n = 1{,}7788 \times n \times t - 1{,}663 \times n \times t_0$$

und das Rechnungsergebniss ist dann natürlich genau dasselbe s wenn man den Faktor n weggelassen hätte.

Man erkennt hiernach, dass der Grenzwerth ıer erreichbaren Temperatur von der Menge verbrannten Brennmaterials unabhängig ist.)ieses dem Theoretiker ganz selbstverständliche Ergeb- ədarf für die Praxis einer näheren Erklärung, weil der ', durch Verbrennen einer grossen Brennmaterialmenge 'selben Zeit eine höhere Temperatur erzielen zu können rch Verbrennen einer geringen Brennmaterialmenge, dem erständlich erscheinenden Ergebniss der Rechnung enteht.

mehr Brennmaterial man in einer bestimmten Zeit in

---

gerechnet wird. Die Definition dieses Begriffes ist durch Umschreibung vermieden.

einem Ofen verbrennt, desto mehr Wärme erzeugt man in demselben, desto mehr Wärme befindet sich daher auch in einem bestimmten Ofenraume, dessen Umwandung ein für allemal die gleiche Grösse hat, aber die Wärme nur langsam nach Aussen durchlässt, so dass ihre innere Wandfläche immer heisser ist als ihre äussere und wenn die Wandung in bestimmter Zeit mehr Wärme durchlassen soll, so muss sich zuvor ihre innere Wandfläche mehr erhitzen. Ihre Innenflächentemperatur steigt also in dem Maasse, in welchem ihr selbst mehr Wärme dargeboten wird; je mehr aber ihre Innenflächentemperatur steigt, desto weniger kühlt diese die Feuergase ab und desto mehr nähert sich daher auch deren Temperatur dem höchsterreichbaren Grenzwerth, ohne ihn jedoch jemals zu erreichen, weil eben die Umwandung doch immerfort Wärme nach Aussen durchlässt und zwar im Allgemeinen um so mehr Wärme, je höher ihre Innenflächentemperatur ist. Indessen nimmt die Steigerung der Wärmedurchlässigkeit selbst ab, wenn die Temperatur des Mediums (z. B. von Luft), welches die Aussenfläche der Umwandung berührt, in stetigem Verhältniss zur Temperatur dieser Aussenfläche zunimmt, wie es vielfach der Fall ist.

Es wird also durch Steigerung der Verbrennung von Brennmaterial in bestimmter Zeit die Abkühlung der Feuergase vermindert; die von einem Kilogramm Brennmaterial entwickelte Wärme wird um so weniger der diesem Kilogramm entsprechenden Gasgewichtsmenge entzogen, aber immerhin wird doch ein Theil der entwickelten Wärme dieser Gasgewichtsmenge nicht überlassen und deshalb kann dieselbe auch nie vollständig den Grenzwerth der Temperatur erreichen, welche durch Verbrennung der kleinsten Gewichtsmenge Brennmaterials erreicht werden könnte, wenn die entwickelte Wärme nur von den Feuergasen allein aufgenommen werden würde.

Führt man dieselbe Rechnung, welche oben für einen bestimmten Wärmeeffekt des zu Kohlenoxydgas verbrennenden Kohlenstoffs ausgeführt wurde, für alle in der Tabelle VII angeführten Wärmeeffekte der Hauptbrennstoffe durch, so ergeben sich die in Tabelle VIII zusammengestellten Temperaturen als Grenzwerthe der im Falle günstigen Ver-

laufes der Verbrennung dieser Brennstoffe erreichbaren Temperaturen.

Tabelle VIII.

bei Verbrennung		Grenzwerthe der bei dauernd günstigem Verlaufe der Verbrennung erreichbaren Temperaturen, wenn die Verbrennungsgase entweichen mit			zusätzliche Temperatur entsprechend der Anfangstemperatur
von	zu	100° C.	200° C.	300° C.	
C	CO	1291	1191	1091	+ 0,935 . t_0
CO	CO_2	2684	2588	2490	+ 1,023 . t_0
C	CO_2	2389	2290	2189	+ 0,978 . t_0
H	H_2O	3159*)	3062*)	2993*)	+ 1,200 . t_0
CH_4	CO_2 u. H_2O	2787*)	2688*)	2590*)	+ 0,965 . t_0
C_2H_4	CO_2 u. H_2O	2660*)	2561*)	2462*)	+ 1,01 . t_0

Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Anfangstemperatur t_0 für den Brennstoff und die Verbrennungsluft die gleiche sei. Ist dies nicht der Fall, sondern t_0' die Temperatur des Brennstoffs und t_0'' die der Luft, so sind die Angaben der letzten senkrechten Columne der Tabelle VIII zu ersetzen durch die folgenden.

Für die Verbrennung von	zu	ist die Anfangswärme
C	CO	$(0{,}15 \cdot t_0' + 1{,}51 \cdot t_0'') \times 0{,}56$
CO	CO_2	$(0{,}237 \cdot t_0' + 0{,}646 \cdot t_0'') \times 1{,}157$
C	CO_2	$(0{,}15 \cdot t_0' + 3{,}026 \cdot t_0'') \times 0{,}308$
H	H_2O	$(3{,}405 \cdot t_0' + 9{,}07 \cdot t_0'') \times 0{,}096$
CH_4	CO_2 u. H_2O	$(0{,}328 \cdot t_0' + 4{,}533 \cdot t_0'') \times 0{,}198$
C_2H_4	CO_2 u. H_2O	$(0{,}421 \cdot t_0' + 3{,}887 \cdot t_0'') \times 0{,}248$

Man pflegt die Temperatur, welche ein Brennmaterial wirklich zu erzeugen vermag, den **pyrometrischen Effekt** oder den **Temperatureffekt** desselben zu nennen.

Nach der Tabelle VIII hat es den Anschein, als wenn der Temperatureffekt gasförmiger Brennstoffe unter allen Um-

---

*) ...e höchste wirklich erreichbare Temperatur ist hierfür 2000° C., ... Seite.

ständen grösser sei als derjenige von festem Kohlenstoff, und dies ist in der That auch der Fall, so lange der Verbrennungsprozess von gasförmigen und festen Brennstoffen gleich günstig verläuft, d. h. so lange bei beiden Brennstoffgattungen die vollkommene Verbrennung nicht gehindert wird. Nun hat sich aber herausgestellt, dass Wasserdampf in sehr hoher Temperatur wieder in seine Bestandtheile Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt, „dissocirt" wird, wobei zur Zersetzung dieselbe Wärmemenge wieder aufgebraucht wird, welche bei der Verbrennung zu Wasser gewonnen wurde. Da erfahrungsgemäss diese Zersetzung in einer Temperatur, welche wenig über 2000° C. beträgt, sicher erfolgt, so ergiebt sich die folgende Lehre:

Brennmaterialien, bei deren Verbrennung ein hoher Prozentsatz Wasser gebildet wird oder verdampft, können mit Sicherheit niemals eine höhere Temperatur als 2000° C. erzeugen.

Demnach ist als höchster wirklich erreichbarer Temperatureffekt für Wasserstoff, Grubengas und ölbildendes Gas 2000° zu bezeichnen.

So lange diese Temperatur nicht erreicht wird, können die in der Tabelle VIII angegebenen Temperaturen als richtige Verhältnisszahlen zur Beurtheilung des pyrometrischen Werthes der Brennstoffe betrachtet werden, bei Ueberschreitung von 2000° dagegen sind nur noch die **nicht** mit * bezeichneten Angaben als Temperaturgrenzwerthe zu betrachten.

Danach belehrt die Tabelle VIII, dass in der That im Allgemeinen fester Kohlenstoff keinen so hohen Temperatureffekt ergiebt als gasförmiger Brennstoff.

Ausserdem lehrt diese Tabelle, dass der Temperatureffekt des Kohlenstoffs bei vollständiger Verbrennung nahezu doppelt so gross ist als bei Verbrennung zu Kohlenoxydgas. Wenn man daher bei Verwendung festen Brennmaterials einen hohen Temperatureffekt erzielen will, so muss man für möglichst vollkommene Verbrennung oder für Vorwärmung des Brennmaterials selbst, wie auch der Verbrennungsluft oder für möglichst vollkommene Verbrennung und Vorwärmung zugleich Sorge tragen.

Indessen wurde bereits unter IV darauf hingewiesen, dass man eine vollständige Verbrennung des Kohlenstoffs immer nur durch mindestens 20 bis 30 Prozent Ueberschuss an Luftzuführung erzielen kann. Was das für den Temperatureffekt besagt, wenn man anstatt 12,714 Kgr. Luft 15,25 bis 16,5 Kgr. zur Verbrennung bedarf, ergiebt sich, wenn man die überschüssige Luftmenge mit 0,238 sowie mit dem gesuchten Grenzwerth der Temperatur multiplicirt und das Produkt als Summand den Wärmemengen zufügt, welche durch den Wärmeeffekt erzeugt werden müssen; man findet dann, dass der Temperatureffekt sich um $15^1/_2$ bis $21^1/_2$ Prozent vermindert.

Diesen Verlust an Temperatureffekt kann man durch Vorwärmen des Brennmaterials und der Verbrennungsluft nicht wieder ausgleichen und zudem wird durch weitgehendes Vorwärmen der Luft deren Volumen so sehr erweitert, dass man schliesslich die zur Verbrennung nöthige Luftmenge, wegen Mangel an genügend grossem freiem Durchgangsquerschnitt, nicht mehr durch die Saugwirkung eines erhitzten Schachtes oder Kamins beschaffen kann, sondern entweder zu Hilfsmitteln für künstliche Verstärkung dieser Saugwirkung, etwa einem Dampfblaserohre, seine Zuflucht nehmen oder Luftcompressionsmaschinen anwenden muss, mittelst deren die nöthige Luftmenge in verdichtetem Zustand in den Feuerraum hineingepresst wird.

Zweiter Abschnitt.

Anleitung zur Beurtheilung des Nutzwerthes der Brennmaterialien.

I. Die bei Beurtheilung eines Brennmaterials in Betracht kommenden Faktoren.

Bei der Wahl eines Brennmaterials kommen, ausser dem Gestehungspreis, der anzustrebende Heizzweck und die zur Erreichung desselben zur Verfügung stehenden Hilfsmittel in Betracht, vermittels deren sich der natürliche Verbrennungserfolg abändern lässt.

Erfordert der anzustrebende Heizzweck eine besonders hohe Temperaturerzeugung, welche ein billiges natürliches Brennmaterial nicht unmittelbar ermöglicht, so kann man wohl aus ihm oder mittels desselben ein gasförmiges Brennmaterial (auf später zu besprechende Weise) erzeugen, das (nach Tabelle VIII) einen höheren Temperatureffekt ergiebt; allein es frägt sich dann, ob das künstlich beschaffene pyrometrisch werthvollere Brennmaterial nicht etwa theurer zu stehen kommt, als ein anderes natürliches Brennmaterial, dessen Gestehungspreis höher ist, als das zuerst in's Auge gefasste.

Ausserdem lässt sich auch für manche Zwecke ein gasförmiges Brennmaterial nicht verwenden, wenn das zu erzielende Produkt eine bestimmte Zusammensetzung des Brennmaterials erfordert, welche ein gasförmiges nicht besitzt. Es entsteht dann zunächst die Frage, ob es keine Hilfsmittel

giebt, welche die Möglichkeit bieten, ein billiges natürliches Brennmaterial zur Erzeugung einer hinreichend hohen Temperatur zu befähigen. Solche Hilfsmittel giebt es in der That und es wurde auch bereits unter VI des ersten Abschnittes*) darauf hingewiesen, dass man durch Vorwärmen des Brennmaterials und der Verbrennungsluft, sowie auch durch Verdichtung der letzteren mittels Luftcompressionsmaschinen, einen höheren Temperatureffekt gewinnen könne, als ihn das Brennmaterial ohne solche Hilfsmittel ergiebt. Sind die nöthigen Hilfsmittel billig genug zu beschaffen (was bei einfacher Vorwärmung ja im Allgemeinen nicht ausgeschlossen ist), so kann ein billiges natürliches Brennmaterial unter Umständen allen Erfordernissen genügen; wenn dagegen etwa nöthige maschinelle Hilfsmittel nicht hinreichend billig beschaffen werden können, so muss man entweder ein theuereres natürliches Brennmaterial verfeuern oder den Feuerungsbetrieb an einen Ort verlegen, an welchem ein zweckmässiges natürliches Brennmaterial hinreichend billig zu beschaffen ist.

In sehr vielen Fällen ist ein sehr hoher Temperatureffekt nicht nur nicht nöthig, sondern auch nicht erwünscht, wohl aber ein Verbrennen des Brennmaterials mit langer Flamme, während in anderen Fällen möglichst kurze Flammenbildung zweckmässig ist. In sehr vielen Fällen ist ferner leichte Entzündbarkeit und rasches Verbrennen des Brennmaterials erforderlich, während man in anderen Fällen langsames Verbrennen desselben wünscht.

Kurz, die Anforderungen, welche an die Eigenschaften der Brennmaterialien gestellt werden, sind ausserordentlich mannigfaltig und die Wahl derselben oft eng begrenzt.

So z. B. verwendet man in Bäckereien für das Heizen der Backöfen mit Vorliebe lufttrockene Birkenholzreiser, welche mit starker Rauchentwickelung und sehr viel Aschenrückstand verbrennen, während man in Eisenschmelzöfen (Kupolöfen) nur Koks von bestimmter Beschaffenheit und Holzkohle mit Vortheil verwendet. Für Schmiedefeuer bedarf man einer stark

---

*) Vergl. S. 27 u. 28.

zusammenbackenden Kohle, welche sehr rasch grosse Hitze entwickelt und zusammenhält, aber auch sehr rasch wieder abkühlt, wenn ihr nicht ein starker Luftstrom zugeführt wird. Für Dampfkesselanlagen ist besonders ein Brennmaterial zu empfehlen, welches gleichmässig verbrennt, nicht allzu stark zusammenbackt und die Hitze lange hält. Für manche industrielle Feuerungsanlagen eignet sich vorwiegend weiches Holz, für andere nur Steinkohle, für wieder andere Koks und für einige am besten gasförmiges Brennmaterial. Für Zimmerofenfeuerungen endlich eignen sich nur solche Brennmaterialien, welche geruchlos und überhaupt ohne die Raumluft zu verunreinigen, verbrennen können.

Wie aus den vorstehenden Betrachtungen hervorgeht, hat man ausser dem Wärmeeffekt und dem Temperatureffekt, auch die Entzündbarkeit und die Flammbarkeit (d. i. die Flammenentwickelungsfähigkeit) der Brennmaterialien in Erwägung zu ziehen.

Dass die Entzündbarkeit und die Flammbarkeit durchaus nicht immer gleichzeitig auftreten, ist hinreichend bekannt. Entzündbar ist jedes Brennmaterial, aber nicht jedes Brennmaterial ist entflammbar; doch besteht zwischen beiden Eigenschaften insofern eine gewisse Beziehung, als ein Brennmaterial um so leichter, d. h. bei um so niedrigerer Temperatur, entzündbar ist, je leichter es brennbare Gase ausscheidet, zu welchen insbesondere Wasserstoff in nicht an Sauerstoff gebundenem Zustand — wie man sich auszudrücken pflegt „überschüssiger Wasserstoff“ — gehört, während die Entflammung eines Brennmaterials wesentlich durch Entwickelung von kohlenstoffhaltigen Gasen verursacht wird, zu welchen insbesondere Kohlenwasserstoffgase gehören, deren Bildung ebenfalls von überschüssigem Wasserstoffgas abhängt. Doch kommt bei der Entflammbarkeit eines Brennmaterials auch dessen Gehalt an Wasser in Betracht, dessen Dampf auch vermöge seiner Spannkraft, bezw. seines grossen Ausdehnungsbestrebens für die Länge der Flammen wesentlich bestimmend ist.

Bezüglich des Wassergehaltes unterscheidet man solches Wasser, welches an die Constitution des Brennmaterials ge-

bunden ist, als „chemisch gebundenes Wasser“ und solches Wasser, welches dem Brennmaterial nur mechanisch beigemischt ist und, als eigentlicher Feuchtigkeitsgehalt desselben betrachtet, „hygroskopisch- oder hygrometrisch-gebundenes (d. i. als Feuchtigkeitsgehalt bestimmbares) Wasser“ genannt wird.

Das letztere Wasser lässt sich bei einer Erhitzung des Brennmaterials auf 100° bis höchstens 130° C. aus diesem austreiben, während das chemisch gebundene Wasser aus manchen Brennmaterialien, selbst bei höchst erreichbarer Temperatur, nicht anders als durch Verbrennen derselben frei gemacht werden kann.

Beide Wasserarten binden natürlich bei ihrer Verdampfung gleich viel Wasser; aber während das hygroskopisch gebundene Wasser bis zur Erhitzung auf die normale Verdampfungstemperatur (100°) nur 100 Calorien aufnimmt, nimmt das chemisch gebundene Wasser auch für Temperaturen über 100° noch je 1 Calorie für jeden Grad der Temperaturerhöhung in sich auf, es entzieht demnach dem brennenden Brennmaterial bedeutend mehr Wärme, als das hygroskopisch gebundene Wasser und beansprucht aus diesem Grunde ein viel besseres Zusammenhalten der Wärme für das Verbrennen des Brennmaterials selbst, als das hygroskopisch gebundene Wasser. Da aber mit dem besseren Zusammenhalten der Wärme im Allgemeinen auch eine höhere Temperatur verbunden ist, so kann man auch sagen, dass ein Brennmaterial, welches nur chemisch gebundenes Wasser enthält, eine um so höhere Verbrennungstemperatur erfordert, auf je höhere Temperatur es bei Luftabschluss gebracht werden müsste, um dieses chemisch gebundene Wasser aus ihm auszutreiben.

Da übrigens die Verbrennungstemperatur in engem Zusammenhang mit der Entzündungstemperatur und mit der Entflammungstemperatur d. h. mit derjenigen Temperatur steht, bei welcher entweder das Brennmaterial selbst, oder ein aus n ausscheidendes Produkt erglüht, so ergiebt sich nach was vorstehend über die Entzündbarkeit und über die rkeit gesagt wurde auch, dass die Brennmaterialien

auch eine um so höhere Verbrennungstemperatur erfordern, je geringer ihr Gehalt an Wasserstoff und auch an Wasser ist.

Die von dem chemisch gebundenen Wasser vor seiner Verdampfung überschüssig aufgenommene Wärme ist für den Wärmeeffekt nicht verloren, weil die Gesammtwärme des Wasserdampfes bei bestimmter Temperatur immer dieselbe ist, gleichviel ob dieser aus chemisch gebundenem oder aus hygroskopisch gebundenem, oder aus gar nicht gebundenem Wasser entstanden ist; es wird deshalb diejenige Wärmemenge, welche das chemisch gebundene Wasser vor seiner Verdampfung mehr als hygroskopisch gebundenes Wasser vor der seinigen aufgenommen hat, zum Theil für den Verdampfungsprozess selbst verwendet, so dass für diesen Prozess weniger Wärme von der Umgebung des Wassers entzogen wird.

II. Besprechung der einzelnen Brennmaterialien.

1. Holz.

Die Eigenschaften des natürlichen Holzes als Brennmaterial sind ausserordentlich verschieden, und zwar sind hinsichtlich derselben nicht nur die verschiedenen Holzarten, sondern auch die Lagen der Orte ihres Wachsthums und die Theile eines und desselben Baumes und Gesträuches in Betracht zu ziehen, da ein aus wasserreicher Lage stammendes Holz einen grösseren Wassergehalt besitzt, als ein aus trockener Lage stammendes und da der Aschengehalt der Holztheile wesentlich von der Grösse ihrer der Luft, dem Staub und beziehentlich auch dem Erdreich selbst ausgesetzten Oberfläche abhängt.

Den grössten Aschegehalt besitzen die Wurzeln, die Blätter und die Rinde; hinsichtlich der letzteren sind daher auch dünne Aeste und Gesträucher (ihrer verhältnissmässig geringen Menge rindenfreien Holzes wegen) reicher an Asche ergebenden Bestandtheilen, als das Holz von dicken Aesten und vom Stamme selbst.

Der Wassergehalt ist im Allgemeinen bei weichen Hölzern grösser als bei harten und der Gehalt an überschüssigem Wasserstoff bei harzreichen Hölzern grösser als bei anderen, weshalb die harzreichsten Hölzer *am leichtesten entzündbar* sind; zugleich ergeben dieselben auch die *längste Flamme*.

In *stark* zerkleinertem Zustand ist der Unterschied des Verhaltens der Holzarten hinsichtlich ihrer Entzündbarkeit und Flammbarkeit wesentlich geringer als in *mässig* zerkleinertem Zustand; in Pulver- oder Sägemehlform verhalten sich alle Hölzer ziemlich gleich und ergeben auch ziemlich gleichen Wärmeeffekt und Temperatureffekt.

Was die Zusammensetzung des Holzes betrifft, so sind darüber noch zu wenig Untersuchungen angestellt, als dass man genaue Grenzen dafür angeben könnte; zumeist mögen lufttrockene Hölzer wohl

30	bis	40	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
0,0	„	1,0	„	freien Wasserstoff,
35	„	40	„	chemisch gebundenes Wasser,
15	„	25	„	hygroskopisch gebundenes Wasser und
1	„	5	„	Aschebestandtheile

enthalten und der *theoretische Heizwerth* danach im Mittel zu 3000 Calorien anzunehmen sein, während der Grenzwerth des höchsten *Temperatureffektes*, bei Abzug der Rauchgase mit einer Temperatur von 100° C., 1056° C. gleichkäme, wenn das verdampfende Wasser des Holzes keine Wärme absorbiren würde. Die höchste durch gewöhnliches Holzfeuer erreichbare Temperatur dürfte wohl 800° C. sein.

Der Umstand, dass Holz trotz seinem sehr geringen überschüssigen Wasserstoffgehalt leicht entzündbar ist, rührt von der Zusammensetzung der Holzfaser her, welche aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff besteht, wobei die beiden letzteren Stoffe zwar chemisch zu Wasser verbunden sind, aber von dem Kohlenstoff nicht eher frei werden, als bis dieser verbrennt. Das Verhältniss der Wärmeeffekte der einzelnen Holzarten (pro Kgr.) lässt sich annähernd nach dem von

Brix angegebenen Verhältniss der theoretischen Heizwerthe beurtheilen. Wird der theoretische Heizwerth von Eichenholz, welcher ungefähr 3000 Calorien entspricht, mit 1 bezeichnet, so ist der theoretische Heizwerth von

Föhrenholz	1,110	Birkenholz	0,954
Ellernholz	1,015	Rothbuchenholz	1,007

und Weissbuchenholz 0,930.

Wird Holz langsam bis auf 130° C. erhitzt, so verliert es sein hygroskopisches Wasser und gewinnt dadurch annähernd im Verhältniss seines früheren Gewichtes zu seinem jetzigen verminderten Gewichte an absolutem Heizwerth; denn hat es beispielsweise 20 Gewichtsprozente Wasser verloren und besass es früher 40 Gewichtsprozente Kohlenstoff, so enthält es jetzt in jedem Kilogramm $\frac{40}{0,8} = 50$ Gewichtstheile Kohlenstoff. Der mittlere theoretische Heizwerth des von hygroskopischem Wasser vollständig freien Holzes beträgt daher etwa 3750 Calorien.

Natürlich wird durch das Entfernen des hygroskopischen Wassers auch der wirkliche Effekt und zwar sowohl der Wärmeeffekt, als auch der Temperatureffekt des Holzes erhöht und zwar würde der letztere der Tabelle VIII entsprechend, einen Grenzwerth von etwa 1200° C. erlangen, wenn das chemisch gebundene Wasser keine Wärme absorbiren würde. Immerhin dürfte es bei zweckmässiger Feuerungseinrichtung möglich sein, mit gedarrtem Holze eine Maximaltemperatur von 900 bis 1000° C. erreichen zu können.

2. Die Holzkohle.

Wird Holz unter Luftabschluss bis auf 200° C. erhitzt, so verliert es auch von seinem chemisch gebundenen Wasser einen Theil und geht allmählich in Rothholz über, dessen theoretischer Heizwerth etwa $1^1/_2$mal so gross ist, als der des natürlichen lufttrockenen Holzes, aus welchem es entstanden ist.

Wird die Temperatur noch weiter erhöht, so geht das Holz bei 300 bis 350° C. in Rothkohle über.

In frischem Zustand enthält die Rothkohle im Mittel

74	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
24	„	chemisch gebundenes Wasser und
2	„	Aschebestandtheile,

so dass ihr theoretischer Heizwerth **6512** Calorien beträgt.

Bei längerem Lagern nimmt aber die Rothkohle wieder Wasser auf und besteht dann im Mittel aus

66,5	Gewichtstheilen	Kohlenstoff,
22,0	„	chemisch gebundenem Wasser,
10,0	„	hygroskopisch gebundenem Wasser und
1,5	„	Aschebestandtheilen,

so dass ihr theoretischer Heizwerth nach längerem Lagern im Mittel 5373 Calorien beträgt.

Wird die Entwässerung der Rothkohle durch Erhitzen über 350° C. gesteigert, so beginnt die Kohle bei 400° C. in Schwarzkohle überzugehen und verliert bei fortgesetzter Temperatursteigerung immer noch Wasser; doch verliert sie dasselbe selbst bei 1500° C. noch nicht ganz. Es erklärt sich hiernach das oben erwähnte eigenthümliche Festhalten des chemisch gebundenen Wassers an den Flammengasen des verbrennenden Holzes.

Die durchschnittliche Zusammensetzung schwarzer Holzkohle guter Qualität ist

84	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
12	„	Wasser und
4	„	Aschebestandtheile.

Ihr theoretischer Heizwerth beträgt daher im Mittel **6787** Calorien und der Grenzwerth ihres höchsten erreichbaren Temperatureffektes bei Entweichung der Rauchgase mit 100° C. liegt zwischen 1900 und 2000° C.

Die Entzündungstemperatur guter schwarzer Holzkohle liegt, ihres geringen Gehaltes an flüchtiger Substanz wegen, sehr hoch; ist sie dagegen einmal entzündet, so brennt sie bei dem hierzu nöthigen Luftzuge leicht fort, weil sie ein sehr schlechter Wärmeleiter ist und deshalb an der Verbrennungsstelle selbst nicht so rasch abkühlt, wie manche andere Brennmaterialien, deren Entzündungstemperatur eine hohe ist.

Eine gute Holzkohle kennzeichnet sich dadurch, dass sie beim Zerspringen einen hellen Klang von sich giebt, einen reinen (nicht krümelnden) Bruch zeigt und nicht abfärbt.

3. Lohkuchen.

Die aus Gerbereien kommende Lohe, welche aus holzigen Rindetheilen besteht, wird an vielen Orten als Brennmaterial verwendet und zu diesem Zweck, zumeist unter geringem Druck, in Kuchenform gepresst und hierauf an der Luft getrocknet.

Lufttrockene Lohkuchen in solcher Weise hergestellt, enthalten etwa

30	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
55	„	Wasser und
15	„	Aschebestandtheile

und haben daher einen theoretischen Heizwerth von etwa 2400 Calorien. Die Entzündungstemperatur solcher Lohkuchen ist eine sehr niedrige; dieselben brennen anfangs mit kurzer Flamme, allmählich aber geht die Verbrennung in einfaches Glimmen unter mässiger Rauchausscheidung über, während sich rings um die brennenden Theile ein Aschenüberzug ausbreitet, welcher die Luftzuströmung zu den ersteren hemmt, diese brennenden Theile aber zugleich auch gegen Abkühlung schützt, so dass das Glimmen unter der Asche noch so lange fortdauert, bis diese nicht mehr genügend Luft durchlässt.

Der Wärmeeffekt ist unter solchen Umständen natürlich nur sehr gering, weil die Holztheile nur unvollkommen (grösstentheils zu Kohlenoxydgas) verbrennen; gleichwohl sind die Lohkuchen in manchen Gegenden zum Verfeuern in eisernen Oefen (namentlich in Arbeitsräumen) beliebt, weil sie sich gut zum Anheizen eignen und vermöge ihrer Asche die Wärme lange halten, während eiserne Oefen sonst sehr rasch abkühlen.

Der Temperatureffekt der Lohkuchen kann im günstigsten Falle zu 300 bis 350° C. veranschlagt werden.

Werden die Lohkuchen in der Weise erzeugt, dass man die Lohe zunächst durch Erhitzen in losem Zustand schärfer trocknet und sodann unter hohem Druck in Form presst, so steht ihr theoretischer Heizwerth dem von gutem hartem Holze nicht viel nach; ihr hoher Aschegehalt aber wird immerhin ihre Verwerthung in industriellen Anlagen wesentlich beschränken.

Bei geeigneter Feuerungseinrichtung kann man lose gedarrte Lohe mit Vortheil als Kesselfeuerungsmaterial benutzen; doch muss man dieselbe dann entweder mit seitlich zuströmender Luft verbrennen oder besondere Vorkehrung für leichte Beseitigung der Asche treffen.

4. Der Torf.

Der Torf ist ein Verwesungsprodukt verschiedenartiger Vegetabilien; es giebt solchen, welcher sich vorwiegend aus Wurzeln und Waldholz gebildet hat, während andere Torfarten vorwiegend aus Wasser- und Sumpfpflanzen entstanden sind.

Je nach seiner Abstammung ist natürlich auch die Zusammensetzung des Torfes verschieden; es giebt Torfarten, welche kaum 30 Gewichtstheile Kohlenstoff enthalten, während andere bis zu 60 Gewichtstheilen Kohlenstoff besitzen. Natürlich kommt dabei wesentlich der Wassergehalt in Betracht, welcher je nach der Vorbehandlung des Torfes vor seiner Verfeuerung sehr verschieden gross ist. Auch der Gehalt an Aschebestandtheilen ist sehr verschieden gross; es giebt Torfarten aus grasartigen Sumpfpflanzen, welche kaum 2 Gewichtsprozente Aschebestandtheile enthalten, während manche Torfarten über 20 Gewichtsprozente Aschebestandtheile besitzen. Charakteristisch an der Torfasche ist ihr Gehalt an Phosphorsäure; vorwiegend besteht sie jedoch aus Thon- und Kieselerde, Kalk und Eisenoxyd, doch kommt darin auch Gyps, Phosphorsäure und Schwefelsäure vor.

Unter den angegebenen Umständen ist der Heizwerth des Torfes allgemein nicht angebbar, da es solchen giebt, dessen

theoretischer Heizwerth kaum 2400 Calorien beträgt und solchen, dessen theoretischer Heizwerth sich zu 4500 Calorien berechnet.

Zu den Torfarten bester Qualität gehört der Wiesen-Presstorf, welcher nach dem Exter'schen Verfahren im Haspelmoor (zwischen Augsburg und München) in der Weise erzeugt wird, dass man nach dem Trockenlegen der Moorparzelle durch Pflügen, Eggen und zeitweiliges Wenden den rohen Torf in zerkrümeltem Zustand an der Luft trocknet, hierauf, nach Absonderung groben Wurzelwerks, maschinell noch weiter zerkleinert, in einem Trockenofen darrt und endlich unter starkem Druck in glänzende dunkelbraune Ziegel presst. Solcher Torf hat einen absoluten Heizeffekt von 3500 bis 4100 Calorien.

Die Entzündbarkeit des Torfes kommt derjenigen der Lohkuchen ziemlich nahe, auch ist sein ganzes Verhalten während des Brennens dem der Lohkuchen ähnlich; doch entwickelt er beim Verbrennen übelriechende (auch gesundheitschädliche) in den Heizraum eindringende Gase, weshalb er als Zimmerheizmaterial nicht zu empfehlen ist.

Der Temperatureffekt des Torfes ist natürlich infolge seines verschiedenen Heizwerthes und Aschegehaltes auch sehr verschieden, die geringsten Torfarten mögen höchstens eine Temperatur von 450° C., die besten Torfarten aber eine höchste Temperatur von 900 bis 1000° C. ergeben können.

5. Die Torfkohle.

Theils für seine Verwendung als Zimmerheizmaterial, theils für seine Nutzbarmachung zu metallurgischen Zwecken, wird der Torf durch Erhitzen unter Luftabschluss verkohlt.

Für die letzteren Zwecke kann natürlich nur schwer zerdrückbare Torfkohle aus Presstorf verwendet werden, der geringen Aschegehalt besitzt. Grösserer Aschegehalt macht die Torfkohle für Erzeugung hoher Temperaturen untauglich.

Der theoretische Heizwerth der Torfkohle liegt, je nach der Torfart, aus welcher er gewonnen wurde, zwischen 3200 Calorien und 6400 Calorien.

Bei der aus einfachem Formtorf (Stechtorf) gewonnenen Torfkohle liegt die Entzündungstemperatur weit niedriger, als bei der aus sehr festem Presstorf gewonnenen.

Der wirklich erreichbare Temperatureffekt der Torfkohle ist zumeist nicht sehr viel höher als der des Torfes, aus welchem er erzeugt wurde, nur bei vorzüglichsten Sorten ist die Erreichung einer Temperatur über 1000° C. nicht ausgeschlossen.

6. Die Braunkohle.

Braunkohle ist wie Torf ein Zersetzungsprodukt vegetabilischen Wachsthums (von Holz), nur von sehr viel höherem Alter als jener. Es giebt Braunkohlen von sehr verschiedenem Aussehen; insbesondere unterscheidet man solche von brauner Farbe und holzartiger Textur, die sogen. „Lignite“, ferner solche von dunkelbrauner Farbe und erdigem Bruch, die sogen. „erdige Braunkohle“ oder „Erdkohle“ und endlich solche von pechschwarzer Farbe und muscheligem Bruch, „Gagat“ genannt. Zwischen diesen drei Arten giebt es natürlich auch verschiedene Abstufungen.

Der Name Braunkohle rührt jedenfalls daher, dass man ursprünglich nur braune und schwarze Kohlen unterschied und die erstere ihrer Farbe wegen Braunkohle, die letztere aber Steinkohle nannte. Später fand man aber auch bei schwarzen Kohlen verschiedene Sorten, welche ähnliche Eigenschaften zeigten wie die braunen Kohlen, während andere schwarze Kohlen diese Eigenschaften nicht zeigten.

Als Hauptunterschied zwischen der Braunkohle und der Steinkohle gilt nach Richters der Umstand, dass die letztere beim Erhitzen an der Luft bis [illegible] C., an Gewicht verliert, bei weiterer Erhitzung [illegible] Sauerstoffaufnahme wieder schwerer wird, [illegible] bei einer Temperatursteigerung über [illegible] genschaft nicht zeigt. Dazu kommt, [illegible] Erhitzen unter Luftabschluss stets [illegible] Kohle abgiebt, sowie andere Destil[illegible] und zumeist wesentlich gering[illegible] als die Steinkohle.

Nach den gegebenen Andeutungen hinsichtlich der Verschiedenartigkeit des Aussehens der Braunkohlen ist es begreiflich, dass die Zusammensetzungen derselben sehr verschieden sind. Die in Deutschland gebräuchlichen Braunkohlen enthalten im lufttrockenen Zustand:

38	bis	69	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
1	„	2,4	„	überschüssigen Wasserstoff,
12	„	28	„	chemisch gebundenes Wasser,
10	„	30	„	hygroskopisch gebundenes Wasser und
2	„	13	„	Aschebestandtheile;

dazu auch stets etwas Stickstoff und häufig etwas Schwefel.

Hiernach ergiebt sich, dass der *theoretische Heizeffekt* der Braunkohlen je nach der Gattung derselben 3410 *bis* 5650 *Calorien* beträgt; insbesondere ist der theoretische Heizeffekt von

lufttrockenen	Ligniten	3410	bis	3880	Calorien
„	erdigen Braunkohlen	4440	„	4930	„
„	muscheligen Kohlen	5010	„	5650	„

Da aus den Braunkohlen das chemisch gebundene Wasser nicht so schwer auszutreiben ist als aus Holz und überdies in ihnen in viel geringerem Maasse vertreten ist als in diesem, und da ferner auch der überschüssige Wasserstoffgehalt nur sehr gering ist, so muss nothwendig die *Entzündungstemperatur* der Braunkohlen weit höher liegen und die *Flammenlänge* derselben weit kürzer sein als bei Holz; auch glimmen sie nicht so lange fort als dieses und erfordern deshalb eine höhere Verbrennungstemperatur (Temperatur zur Erhaltung ihrer Verbrennung).

Der *Temperatureffekt* der Braunkohlen ist natürlich ebenso verschieden wie der theoretische Heizwerth derselben; die höchst erreichbare Temperatur kann veranschlagt werden:

bei	lufttrockenen Ligniten zu . . .	650	bis	750°	C.
„	„ erdigen Braunkohlen	700	„	850	„
„	„ muscheligen „	1000	„	1200	„

Ihres geringen Zusammenhaltes wegen müssen erdige nkohlen oft erst in Briquetts geformt werden.

Die Verwendung der Braunkohlen erstreckt sich im Wesentlichen auf solche Feuerungsanlagen, für welche sehr hohe Temperaturen nicht erforderlich sind, insbesondere auf Zimmeröfen, Wärmeöfen der Industrie und Kesselfeuerungen.

7. Die Steinkohlen.

Die Steinkohlen sind Zersetzungsprodukte gleichartigen Ursprungs wie die Braunkohlen, nur noch etwas weiter entwickelt als diese. Sie sind stets schwarz oder schwarzgrau und entweder schieferig oder gleichmässig dicht.

Man unterscheidet zwei Hauptgattungen von Steinkohlen, nämlich bituminöse und anthracitische und versteht unter den ersteren solche Steinkohlen, welche bei ihrer Erhitzung mehr oder weniger grosse Mengen Kohlenstoff enthaltender Gase ausscheiden und deshalb mit leuchtender, mehr oder weniger langgestreckter Flamme brennen, während man unter anthracitischen Kohlen das am weitesten fortgeschrittene Verkohlungsprodukt versteht, welches nur noch sehr geringe Mengen verflüchtigbarer Substanz enthält und aus diesem Grund nur mit sehr kleiner, oft kaum wahrnehmbarer, rauchfreier Flamme verbrennt und dabei knallend zerberstet.

Die bituminöse Eigenschaft der Steinkohlen rührt theils von chemisch gebundenem Wasser, theils von einem verhältnissmässig grossen Gehalt an überschüssigem Wasserstoff her, welcher letztere bei sehr bituminösen Kohlen bis zu 5,5 Gewichtsprozente ausmacht, während anthracitische Kohle nur bis zu 2,5 Gewichtsprozente überschüssigen Wasserstoff besitzt. Auch enthält anthracitische Kohle nur bis höchstens 4,8 Gewichtsprocente chemisch gebundenes Wasser, während sehr bituminöse Kohle bis zu 22 Gewichtsprozente chemisch gebundenes Wasser enthält.

Der Gehalt an überschüssigem Wasserstoff ist für die Steinkohle auch noch in anderer Weise von besonderer Bedeutung, indem er die Hauptursache der Backfähigkeit [illegible]mit zugleich die Ursache der Verkokungsfähig[illegible]r Steinkohle zu sein scheint; wenigstens ist festgestellt,

dass der Steinkohle von Natur die Backfähigkeit abgeht, wenn sie einen geringen Gehalt an überschüssigem Wasserstoff besitzt.

Nach Fleck soll die Backfähigkeit mindestens 4 Gewichtstheile überschüssigen Wasserstoff für je 100 Gewichtstheile Kohlenstoff bedingen.

Diejenigen Kohlen, welche förmlich zusammenschmelzen und dann einen sehr porösen Koks ergeben, nennt man speciell Backkohlen.

Eine andere Kohlenart, welche zwar ebenfalls zusammenbackt, aber nicht schmilzt und einen kleinporigen Koks ergiebt, nennt man Sinterkohle.

Zum Unterschiede von diesen beiden backfähigen Kohlenarten, nennt man die in der Hitze zerfallenden Steinkohlen Sandkohlen.

Die fetten Kohlen. Die gut backfähigen Kohlen zeichnen sich alle durch fettes Ansehen aus, weshalb man sie auch oft als fette Kohlen bezeichnet.

Die Backkohlen, auch Schmiedekohlen genannt, haben stets ein besonders fettes und dabei tiefschwarzes Aussehen; ihr Staub aber ist braun. Sie besitzen am meisten überschüssigen Wasserstoff und ergeben aus diesem Grunde beim Erhitzen unter Luftabschluss die grösste Gasausbeute, weshalb sie für die Leuchtgasfabrikation am vortheilhaftesten sind. Verbrennt man diese Kohlen auf dem Rost, so entwickeln sie zwar eine sehr grosse Hitze, schmelzen aber dabei zugleich dermaassen, dass sie leicht den Rost verschmieren, demzufolge den Luftzug bedeutend vermindern und den Rost verbrennen; ihr Verfeuern auf dem Rost erfordert daher sehr grosse Aufmerksamkeit des Heizers.

Die Zusammensetzung der Backkohlen ist im Mittel:

78	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
4	„	überschüssiger Wasserstoff,
8	„	chemisch gebundenes Wasser,
5	„	hygroskopisch gebundenes Wasser und
5	„	Aschebestandtheile.

Ihr theoretischer Heizeffekt ist daher im Mittel 7680 Calorien.

Als Grenzwerth ihres erreichbaren Temperatureffektes kann 2000° C. angenommen werden, wenn die Temperatur der entweichenden Verbrennungsgase nicht mehr als 100° C. beträgt.

Die Entzündbarkeit der Backkohlen ist eine sehr grosse; ihre Entzündungstemperatur mag etwas über 280° liegen. Sie entwickeln jedoch rasch eine sehr hohe Temperatur, wenn ihnen in hinreichendem Maasse Luft zugeführt wird; ihre Temperatur nimmt aber auch sehr rasch wieder ab, wenn die Luftzuführung ungenügend wird.

Die Flammenlänge dieser Kohlen ist, wenn sie unter starkem Luftzug zur Entwickelung kommt, im Allgemeinen sehr gross; wird aber die Flammenentwickelung verhindert oder beschränkt (wie es bei Schmiedefeuern durch Bedecken mit einer grossen benässten Kohlenschichte geschieht und in besonders eingerichteten Feuerungsanlagen geschehen kann), so beschränkt sich die Verbrennung auf einen kleineren Raum und die Kohlen entwickeln demzufolge eine bedeutend höhere Temperatur und in der Regel auch einen grösseren Wärmeeffekt.

Der Koks der Backkohlen ist wegen seiner grossen Porosität und geringen Festigkeit minderwerthig und für den Schachtofenbetrieb nicht verwendbar.

Die Sinterkohlen haben eine mehr ins Eisengrau gehende Farbe. Ihre Qualitäten sind sehr verschieden. Man unterscheidet insbesondere drei Abstufungen, nämlich fette harte Kohlen, welche am backfähigsten sind, aber viel weniger schmelzen als die Backkohlen und den dichtesten und besten Koks für den Schachtofenbetrieb ergeben; ferner fette Kohlen mit langer Flamme, welche weniger backend als die erstgenannten sind, bei denen aber dafür auch die Flammenentwickelung unbehindert vor sich gehen kann. Die Kohlen dieser zweiten Abstufung sind die besten für Flammenfeuerung, ergeben aber etwas weniger festen Koks als die erstgenannten Kohlen, wiewohl derselbe immer als [illegible] Koks zu bezeichnen ist. Der dritten Abstufung gehören [illegible] fetten (oder trockenen) Kohlen mit langer [illegible], welche, wie ihre Bezeichnung besagt, mit langer

Flamme brennen; die Länge der Flammen ist jedoch nur von kurzer Dauer. Auch ist die Backfähigkeit dieser Kohlen bedeutend geringer als die der vorher genannten Sorten, weshalb sie auch nur geringe Ausbeute an Koks ergeben, die klein sind und mehr zu einem Kuchen zusammenhängen („gefritteter Koks“).

Alle drei genannten Arten der Sinterkohlen sind für Rostfeuerung gut zu gebrauchen; doch ist die mittlere Sorte für diesen Zweck am vortheilhaftesten. Die Entzündbarkeit der Sinterkohlen nimmt mit ihrer Backfähigkeit ab; auch vermindert sich mit dieser die mittlere Verbrennungstemperatur. Doch kann die Backfähigkeit durch geringen Wasserzusatz erhöht und damit zugleich auch die Entwickelung einer höheren Temperatur erzielt werden, und, da eine erhöhte Temperatur auch die Vollkommenheit der Verbrennung begünstigt, so ist, wie auch schon früher bemerkt wurde, ein geringer Wasserzusatz zu trockenen Kohlen, trotzdem ein solcher den Betrag der latent werdenden Wärmemenge etwas vermehrt, zu empfehlen; doch darf ein Wasserzusatz auch nur insoweit vorgenommen werden, als er die etwas zu geringe Backfähigkeit begünstigt, weil ein weiterer Wasserzusatz lediglich eine nutzlose Verminderung des Wärmeeffektes bewirkt. Der geringe Wasserzusatz aber wird bei trockenen Grieskohlen zur unbedingten Nothwendigkeit, wenn diese Kohlen auf gewöhnlichem Rost verfeuert werden sollen, weil sie ohne hinreichende Backfähigkeit in zu grosser Masse unverbrannt zwischen den Roststäben durchfallen.

Bei der grossen Verschiedenheit ihres Verhaltens im Feuer muss natürlich auch die Zusammensetzung der Sinterkohlen wesentlich verschieden sein. Dieselbe ist im Allgemeinen für lufttrockene Sinterkohlen:

50	bis	82	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
3,5	„	5	„	überschüssiger Wasserstoff,
6,75	„	14	„	chemisch gebundenes Wasser,
5	„	16	„	hygroskopisch gebundenes Wasser,
2,5	„	15	„	Aschebestandtheile und

etwas Stickstoff und Schwefel.

Der theoretische Heizwerth der Sinterkohlen ist danach: 5075 bis 8000 Calorien und der Grenzwerth der höchstens erreichbaren Temperatur bewegt sich zwischen 1300 und 2000° C.

Die **Sandkohlen,** auch trockene Kohlen mit kurzer Flamme oder auch gemeinhin „trockene Kohlen" genannt, sind die geringsten von allen Steinkohlen. Sie haben ein völlig trockenes Aussehen und sehr staubigen Gries. Sie brennen nur bei starkem Luftzug und wenn sie in grösserer Masse zusammengehäuft sind mit Flammen, die dann auch nur kurz sind und nicht lange andauern. Unter Luftabschluss erhitzt, hinterlassen die Sandkohlen einen aus kleinen Stücken bestehenden sandigen Koks. Da sie in der Hitze überhaupt zerfallen, so eignen sie sich nicht gut für industrielle Rostfeuerungen; sie werden deshalb zumeist nur für den Hausbedarf und in Ziegel- und Kalkbrennereien verbraucht.

Indessen erlangt ihr Gries durch Wasserzusatz doch eine gewisse Bindefähigkeit, zufolge deren er besser und mit grösserer Hitzeentwickelung verbrennt.

Die Zusammensetzung der Sandkohlen ist im Mittel:

62	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
2,5	„	überschüssiger Wasserstoff,
17,5	„	chemisch gebundenes Wasser,
12	„	hygroskopisch gebundenes Wasser,
5	„	Aschebestandtheile und
1	„	Stickstoff und Schwefel.

Der mittlere theoretische Heizwerth derselben ist daher 5870 Calorien und der Grenzwerth der höchstens erreichbaren Temperatur kann zu 1500° C. veranschlagt werden, so dass also mittels geeigneter Einrichtung doch ein hoher Wärmeeffekt erzielbar wäre.

Die **anthracitische Kohle,** auch magere Kohle genannt, ist tiefschwarz, spröde und hat muscheligen oder doch unebenen Bruch und brennt nur bei hoher Temperatur und [illegible] Luftzug. Man rechnet hierzu Kohlen von verschie[illegible] Zusammensetzung, die aber alle nur wenig flüchtige

Bestandtheile enthalten und darum fast rauchlos verbrennen und bei Erhitzung unter Luftabschluss nur ein Pulver oder höchstens gefritteten Koks hinterlassen. Der eigentliche Anthracit brennt völlig rauchlos und mit kaum sichtbarer sehr kleiner Flamme; er enthält höchstens 2 Gewichtsprozente chemisch gebundenes Wasser und 2,5 bis 3 Gewichtsprozente, oder auch noch weniger, überschüssigen Wasserstoff.

Da die anthracitische Kohle, wie gesagt, nur bei hoher Temperatur brennbar ist, so ist es nothwendig, sie in grösserer Schichtenhöhe zu verbrennen als solche bei anderen Kohlen nothwendig und zweckmässig ist, um die Verbrennungswärme für gleichmässigen Feuerungsbetrieb hinreichend zusammen zu halten.

In richtiger Weise behandelt, ist anthracitische Kohle in allen Feuerungsanlagen, in welchen eine Flamme nicht erforderlich ist, verwendbar.

Die Zusammensetzung der anthracitischen Kohlen ist

78	bis	90	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
0,8	„	3	„	überschüssiger Wasserstoff,
2	„	4,8	„	chemisch gebundenes Wasser,
2	„	3	„	Stickstoff,
1	„	3	„	hygroskopisches Wasser und
4	„	über 8	„	Aschebestandtheile.

Ihr theoretischer Heizwerth ist danach 6600 bis 8000 Calorien.

Der **Graphit.** Diese bisher noch nicht erwähnte Kohlenart unterscheidet sich von den Steinkohlen dadurch, dass sie krystallinisch ist und dabei auch sogen. Krystallwasser enthält. Als direktes Brennmaterial wird Graphit im Allgemeinen nicht verwendet; doch tritt er bei der Schmiedeisen- und Stahlerzeugung als solches auf, weil im Roheisen etwas Graphit enthalten ist. In dieser Ablagerung ist sein theoretischer Heizwerth dem der besten anthracitischen Kohle gleich. Der in den natürlichen Graphitlagern gewonnene Graphit enthält bis zu 5 Gewichtsprozente Aschebestandtheile und hat einen theoretischen Heizwerth von etwa 7600 Calorien.

8. Der Koks.

In den vorstehenden Betrachtungen über die Steinkohlen wurde dargelegt, dass man brauchbaren Koks nur aus *fetten* Steinkohlen gewinne und dass die aus Backkohlen gewonnenen, ihrer Grossporigkeit und geringen Festigkeit wegen als minderwerthig zu betrachten seien. Es ist indessen zu bemerken, dass man für die praktische Kokserzeugung sehr oft Steinkohlen verschiedener Gattung miteinander mischt und aus einer Mischung von trockener Kohle mit sehr fetter Kohle sehr guten Koks gewinnen kann.

Ueber die Kokserzeugung selbst ist an vorliegender Stelle nur kurz zu erwähnen, dass man den Koks als Rückstand der trockenen Destillation der Steinkohlen erhält, wobei diese unter Abschluss der Luft längere Zeit einer Erhitzung bis zu 1000° C. ausgesetzt und die aus ihnen ausscheidenden flüchtigen Bestandtheile abgeleitet werden. Aus den letzteren schlägt sich bei der Abkühlung ein mehr oder weniger grosser Theil in flüssigem Zustande insbesondere als *Theer* nieder, während der Rest der flüchtigen Bestandtheile durch ein Reinigungsverfahren möglichst von gesundheitschädlichen und nicht brennenden Bestandtheilen befreit wird, um dann als *Leuchtgas* benutzt zu werden.

Ausser dem Koks erhält man bei diesem Destillationsverfahren als Rückstand in den zur Destillation benutzten Retorten auch einen festen Niederschlag, der sich an der Retortenwandung in dicker Krust ansetzt und von derselben losgeschlagen wird. Diese Krust besteht aus fast reinem Kohlenstoff und etwas Aschetheilen, die aber sehr ungleich über die Kohlenstoffmasse vertheilt sind, so dass man aus der losgeschlagenen Krust reinere Stücke von den unreineren absondern kann.

Man nennt diese Krust „*Retortenkohle*“ oder auch „*Retortengraphit*“. Man benutzt diese Retortenkohle nicht als Brennmaterial, sondern zur Herstellung der im elektrotechnischen Fache verschiedentlich gebrauchten Kohlegegen-
ıde und zwar insbesondere die weniger reinen Stücke für

die Herstellung von Elementelektroden und die reineren Stücke für die Fabrikation der Bogenlichtkohlen.

Der aus den Retorten herausgezogene Koks enthält ausser Kohlenstoff und Aschebestandtheilen auch noch den grössten Theil des in der Kohle enthalten gewesenen Schwefels. Ein Theil dieses letzteren wird durch sofortiges Begiessen des Koks im heissen Zustand mit Wasser, wahrscheinlich als Schwefelwasserstoffgas, entfernt; gleichwohl enthält Koks, welcher aus schwefelkiesreichen Kohlen erzeugt ist, stets noch so viel Schwefel, dass er für metallurgische Zwecke und für Kesselfeuerungsanlagen im Allgemeinen ungeeignet ist.

Das Beschütten des heissen Koks mit Wasser hat im Wesentlichen den Zweck ihn abzulöschen und ihm zugleich ein silberglänzendes Ansehen zu geben; er nimmt aber dabei auch Wasser in sich auf und zwar ist er befähigt sehr viel Wasser zu binden, wenn ihm solches im Uebermaasse dargeboten wird. Je mehr Wasser er aber bindet, desto mehr muss nachher bei seiner Verbrennung auf Kosten seiner Wärmeentwickelung verdampft und auf hohe Temperatur gebracht werden, wodurch der Temperatureffekt entsprechend vermindert wird. Erfolgt das Ablöschen des Koks nur mit der gerade hinreichenden Wassermenge, so beträgt sein nachheriger Wassergehalt nur 5 bis 10 Prozent seines Gewichtes.

Guter Koks hat ziemlich grosse Festigkeit und keine allzu grossen Blasenräume; der aus backenden Stückkohlen in Meilern hergestellte Koks zeigt blumenkohlähnliche Conturen. Seine Farbe ist schwarzgrau bis eisengrau bei mattem Metallglanz.

Die mittlere Zusammensetzung von guten gewöhnlichen Kokssorten ist:

85 bis 92	Gewichtstheile	Kohlenstoff,
5 „ 10	„	hygroskopisches Wasser und
3 „ 5	„	Aschebestandtheile.

Der theoretische Heizeffekt derselben ist demnach 6868 bis 7434 Calorien. Der Grenzwerth der höchsten erreichbaren Temperatur kann zu 1800 bis 1900° C. veranschlagt werden, wenn die Verbrennungsgase mit nur 100° C. entweichen.

Die Entzündungstemperatur des Koks liegt — seiner hohen Erzeugungstemperatur wegen — sehr hoch und auch zur Erhaltung seiner Verbrennung bedarf er einer Temperatur von mindestens 1000°, weshalb er nur in hochgeschichteter Masse brennt. An kalter Luft erlöscht er sofort, weil er derselben eine sehr grosse Oberfläche darbietet.

Da guter Koks weder überschüssigen Wasserstoff, noch chemisch gebundenes Wasser enthält, so entwickeln sich aus ihm keine erglühungsfähigen (kohlenstoffhaltigen) Gase; er verbrennt deshalb mit sehr schwacher, kaum sichtbarer Flamme.

9. Abfall werthvoller Brennmaterialien.

Rückstände oder Abfälle von industriell verarbeiteten Materialien können, insofern sie zu den werthvollen Brennmaterialien gerechnet werden können, sowohl unmittelbar als auch nach bestimmter Vorbehandlung verfeuert werden. In der Regel wird zur vortheilhaften Verwerthung die letztere platzgreifen müssen, weil kleine Abfälle und Rückstandtheile der Verbrennung eine zu grosse Oberfläche darbieten, als dass sie lange vorhalten könnten. Sie verbrennen dann in sehr kurzer Zeit und entwickeln dabei eine ihrer Gattung entsprechend hohe Wärmemenge, die aber in sehr vielen Fällen nicht für längere Dauer zur Ausnützung kommt, und will man ihre Wärmeentwickelung durch Beschränkung des Luftzuges vermindern, so schwelen sie entweder (d. h. sie verbrennen unvollkommen) eiter und entsenden werthvolle verbrennungsfähige Rauchgase ıtzlos in die Atmosphäre oder sie erlöschen vollständig, je ıch der beim Schwelen entstehenden Temperatur und Rauchsmenge.

Um solche Rückstände und Abfälle besser ausnützen zu nen, muss ihre freie Oberfläche dadurch vermindert werden, man sie — nöthigenfalls mit Hilfe geeigneter Bindemittel eer und Thon — zu einer zusammenhängenden Masse und diese sodann unter starkem Druck in grössere die man allgemein Briquettes nennt.

t sich hierbei oft verschiedenartige brennbare

Stoffe, wie Sägespäne und Kohlengries etc. miteinander gemischt zu verwenden. Grössere Stücke, welche dazu mit verwendet werden sollen, müssen vorher in geeigneter Weise zerkleinert werden.

Der theoretische Heizwerth der Briquettes ergiebt sich jeweils nach der Mischung, aus welcher sie hergestellt sind. Enthalten sie Thon beigemischt, so ist ihr Aschegehalt in der Regel zu hoch, als dass sie einen hohen Effekt ergeben könnten; dagegen kann man bei Verwendung von wenig Theer als Bindemittel sehr werthvolle Briquettes erzeugen, deren Wärmeeffekt und Temperatureffekt durch Entgasung (Verkohlung) noch wesentlich gefördert werden kann. Die entgasten bezw. verkohlten Briquettes besitzen je nach der Mischung, aus welcher sie bestehen, mehr oder weniger die guten Eigenschaften der Holzkohle oder die Eigenschaften des Koks.

10. Der Theer.

Als Theer bezeichnet man flüssige Produkte, welche man bei der Destillation, bezw. Verkohlung und Verkokung von Holz, Torf, Braunkohle, bituminösem Schiefer und Steinkohle erhält.

Seine Zusammensetzung ist je nach den Materialien, aus welchen er als Nebenprodukt gewonnen wird, verschieden. Er enthält ausser mehr oder weniger grosser Wassermenge verschiedene Kohlenwasserstoffe und saure und basische Kohlenwasserstoffverbindungen.

Sein Wassergehalt kann bei mehr oder weniger langer Erhitzung auf 60 bis 100° C. ausgetrieben werden.

Der entwässerte Theer kann als sehr werthvolles Brennmaterial betrachtet werden, dessen theoretischer Heizwerth zwischen 6000 und 9000 Calorien differiren mag und dessen höchsterreichbarer Temperatureffekt zwischen 1200 und 2000° C. liegt.

Seine Entzündungstemperatur liegt sehr niedrig, steigt aber mit fortschreitender Verbrennung; er verbrennt mit hellleuchtender sehr langer Flamme.

Da indessen der Theer ein werthvolles Rohmaterial der chemischen Industrie ist, so wird er in der Regel nur an Produktionsstellen, welche von Stellen einschlägiger chemischer Verwerthungsstellen entfernt liegen, als Brennmaterial verwendet und auch hier zumeist nicht allein, sondern als Tränkungsmittel fester Brennmaterialien, auf welche man ihn während der Verbrennung aufspritzt oder aufträufeln lässt. Will man ihn für sich allein als Brennmaterial verwenden, so kann dies in ähnlicher Weise geschehen wie die Verfeuerung von Petroleum, da er durch Erhitzung dünnflüssig wird.

11. Das Petroleum.

Unter dieser Bezeichnung versteht man in der Feuerungstechnik ausser dem natürlichen (ungereinigten) Erdöl auch die durch Destillation aus verschiedenen Theerarten gewonnenen Kohlenwasserstoffe. Die Erfahrungen, welche man in Nordamerika mit dem Verfeuern von Petroleum gemacht hat, sind äusserst günstige. Insbesondere ist dasselbe als Feuerungsmaterial für Dampfschiffe sehr werthvoll, da es bei gleichem Raumvorrath 3mal so lange für die Kesselfeuerung vorhält als Steinkohlen und ausserdem keine Rauchgase bei seiner Verbrennung entwickelt, sondern als Verbrennungsprodukt lediglich einen wässerigen Dunst ausscheidet, der ungefähr 63 Prozent Wasser enthält, das man sogar durch Condensirung für die Kesselspeisung selbst verwendbar machen kann. Zugleich kann die bei solcher Condensirung frei werdende Wärme noch nutzbar gemacht werden.

Endlich ist auch die Regulirung der Petroleumfeuerung eine so einfache, dass sie, für sich allein verwendet, einen besonderen Heizer zu ihrer Bedienung nicht erfordert.

Man verfeuert Petroleum in der Regel in der Weise, dass man es durch starke Erhitzung vergast und zwar geschieht dies zumeist in Vermischung desselben mit überhitztem Wasser-
ıpf. Vielfach wird hierbei eine Verfeuerung festen Brenn-
als auf einem einfachen Rost mitbenutzt; doch braucht
:hdem die nöthige Erhitzung im Feuerraume einmal

stattgefunden hat, die Rostfeuerung nicht mehr weiter zu berücksichtigen. Einzelne Feuerungstechniker ziehen es indessen vor, minderwerthiges festes Brennmaterial dauernd mit dem Petroleum zu verfeuern und sowohl unterhalb des Rostes Petroleumgas in die feste Brennmaterialmasse einzublasen, als auch oberhalb der letzteren in die Flammen desselben Petroleumgas einströmen zu lassen.

Der absolute Heizwerth des Petroleums soll zwischen 9500 und 10830 Calorien schwanken.

Als höchsterreichbarer Temperatureffekt ist 2000° C. zu bezeichnen.

Die Leichtentzündbarkeit des Petroleums ist allgemein bekannt.

12. Gichtgase.

Unter dieser Bezeichnung versteht man in der Feuerungstechnik nicht nur die aus der Gicht eines Hochofens entweichenden, mehr oder weniger grosse Mengen brennbarer Bestandtheile enthaltenden Gase, sondern überhaupt alle Rauchgase, welche so viel brennbare Bestandtheile enthalten, dass ihre weitere Verbrennung rationell erscheint. Speciell werden darunter allerdings nur die aus Hütten-Oefen entweichenden brennbaren Rauchgase verstanden.

Dieselben enthalten ausser grösseren Mengen unbrennbarer Gase, wie Stickstoff, Kohlensäure und Wasserdampf, als brennbare Stoffe: Kohlenoxydgas, Kohlenwasserstoffgase und Wasserstoffgas.

Natürlich ist der Heizwerth der Gichtgase ausserordentlich verschieden und nur bei Hochofengichtgasen als gleichmässig zu betrachten. Durchschnittlich enthalten diese 15 bis 26 Gewichtsprozente brennbarer Bestandtheile, unter welchen sich etwa 0,2 Gewichtsprozente Wasserstoffgas und im Uebrigen vorwiegend Kohlenoxydgas befindet. Der theoretische Heizwerth der Gichtgase pro Kilogramm (welches Gewicht annähernd auch einem Kubikmeter entspricht) ist 450 bis 700 Calorien. Was das besagt, wird man übersehen, wenn man beachtet,

dass für jedes Kilogramm im Hochofen verbrannten Brennmaterials mindestens 7 Kilogramm Gichtgase entweichen, also $7 \times (450$ bis $700)$ d. i. 3150 bis 4900 Calorien der nutzlosen Preisgabe an die Aussenluft entzogen werden und, wenigstens zum grössten Theile, wieder nutzbar gemacht werden, wenn man die Gichtgase zu weiteren Heizzwecken verwendet.

Einen noch grösseren Heizwerth kann man den Hochofengichtgasen dadurch ertheilen, dass man sie über glühende Kohlen oder glühenden Koks leitet, wobei ein grosser Theil der ihnen beigemischten Kohlensäure in Kohlenoxydgas übergeführt wird.

Allerdings enthalten die Gichtgase auch einige Beimischungen (wie z. B. schwefelhaltige Gase), welche sie nicht für jede Feuerungsanlage geeignet erscheinen lassen.

Was den Temperatureffekt betrifft, den die Hochofengichtgase ermöglichen, so ist zu bemerken, dass dieselben zwar für sich allein schon eine grosse Gasgewichtsmenge umfassen und daher auch eine grosse Wärmemenge zu ihrer Temperaturerhöhung benöthigen, dass sie aber auch nur einer verhältnissmässig kleinen Luftmenge zu ihrer Verbrennung bedürfen. In der That berechnet sich der Grenzwerth der höchsterreichbaren Temperatur unter günstigsten Verhältnissen annähernd zu 1800^0 C., wenn die entweichenden Verbrennungsgase keine höhere Temperatur als 100^0 haben.

Die Entzündbarkeit der gasförmigen Brennstoffe ist nahezu der des Leuchtgases gleich.

Was von den Hochofengichtgasen gilt, das gilt natürlich auch von anderen unvollkommen verbrannt entweichenden Rauchgasen und man erkennt hiernach, dass man den aus zahllosen Kaminen entweichenden, oft sehr belästigenden Rauch durch Weiterverbrennung sehr vortheilhaft ausnützen könnte. Für jeden einzelnen Rauchproducenten einen besonderen Rauchverbrennungsofen vorzusehen, würde nicht empfehlenswerth sein, wohl aber erscheint es nicht gerade unmöglich, den Rauch von zahlreichen Feuerstellen nach einzelnen besonderen Rauchverbrennungsöfen hinzuleiten und so die vielerörterte Plage der rauchenden Kamine nutzbringend zu beheben.

13. Generatorgase.

Der Vortheil, den die Gasfeuerung gewährt, legte den Gedanken nahe, geringwerthige Brennmaterialien, welche ohnehin nur schwierig ohne bedeutende Rauchentwickelung verbrannt werden konnten, direkt zur Erzeugung von Verbrennungsgasen zu benutzen und auf diese Weise aus einem vordem verschmähten Brennmaterial eines der besten zu gewinnen. In der That bedarf es hierzu nur einer unvollkommenen Verbrennung natürlicher Brennmaterialien mit ungenügender Luftmenge in besonderen Vorfeuerungsanlagen, die man Generatoren nennt.

In diesen Generatoren können brennbare Rückstände vegetabilischer Art von Industrie- und Gewerbe-Erzeugnissen, Abfälle von Ackerbauerzeugnissen, grünes Holz, Blätter, bituminöser Schiefer, etc. durch unvollkommene Verbrennung in flüchtige Substanzen zersetzt werden, welche sodann in andere Verbrennungsräume geleitet und hier mit der zur vollständigen Verbrennung nöthigen Luft gemischt und rauchfrei verbrannt werden. Die in den Generatoren erzeugten flüchtigen Substanzen nennt man allgemein Generatorgase.

Dieselben bestehen durchschnittlich in:

16	bis	34	Gewichtstheilen	Kohlenoxydgas,
0,1	„	0,7	„	Wasserstoffgas,
1,3	„	3	„	schweren Kohlenwasserstoffgasen,
0,5	„	1,3	„	ölbildendem Gas und in
65	„	80	„	unbrennbaren Stoffen, wie Kohlensäure, Stickstoff und Wasserdampf,

und der theoretische Heizwerth der Generatorgase beträgt 600 bis 1100 Calorien pro Kilogramm Gases, wenn sie mit 3 bis 2,5 Kilogramm Luft für je ein Kilogramm des rohen Brennmaterials erzeugt wurden, so dass danach ein Kilogramm geringwerthigen Brennmaterials, je nach seiner Qualität und Behandlung, ein Generatorgas von 2400 bis 3850 Calorien Heizwerth ergiebt.

Der Temperatureffekt der Generatorgase ist annähernd der gleiche wie der von Gichtgasen.

14. Wassergas.

Unter dieser Bezeichnung versteht man ein Gas, das man durch Zersetzung von Wasserdampf über glühendem Koks erhält und welches die gleichen brennbaren Stoffe enthält wie die Generatorgase, jedoch in anderen Verhältnissen. Insbesondere strebt man bei seiner Erzeugung dahin, möglichst viel Wasserstoffgas zu gewinnen. Zu diesem Zweck leitet man nach Buch in Buterna den Wasserdampf durch ein stark erhitztes schmiedeisernes Rohr hindurch in glühende Retorten, welche ausser Koks auch altes Eisen enthalten. Dabei wird eine Zersetzung des Wasserdampfes schon theilweise in dem erhitzten Rohr vorbereitet und sein Sauerstoff wird dann grossentheils vom Eisen absorbirt.

Dadurch, dass man schliesslich das so erhaltene Gasgemenge noch durch Kammern leitet, welche mit Eisenoxyd gefüllt sind, wird es von etwaigen Beimischungen schwefeliger Gase gereinigt.

Der absolute Heizwerth des Wassergases beträgt je nach seiner Erzeugungsart angeblich 2650 bis 6000 Calorien.

Als Temperatureffekt kann man aus früher angegebenen Gründen jedenfalls kaum 2000° C. erreichen*).

15. Leuchtgas.

Auch dieses verhältnissmässig theuere Gas wird sehr viel zu Heizzwecken verwendet; während man aber die bisher besprochenen Gasarten durch mehr oder weniger grosse Kanäle in den Feuerraum ein- und der durch andere Kanäle — zumeist vorerwärmt — herzuströmenden Verbrennungsluft frei entgegenströmen lässt, wird das Leuchtgas immer durch Röhrenleitungen an den Ort der Feuerungsanlage geleitet, innerhalb deren es durch Brenner verschiedener Art — am besten mit der nöthigen Verbrennungsluft gemischt — ausströmt und unmittelbar an der Brennermündung selbst mit mässig grosser Flamme verbrennt.

---

*) Vergl. S. 26.

Ausser dem aus Gasanstalten bezogenen Leuchtgas kommen für Heizungszwecke auch Leuchtgase in Betracht, welche in verschiedenen Industrieanlagen für den eigenen Bedarf durch Destillation verschiedenartiger Materialien gewonnen werden, zu welchen ausser Kohlen auch Holz, Torf, fette Oele, Fette, Harze, Schieferöl, Paraffinöl und Petroleum gehören.

Die Bestandtheile dieser Leuchtgase sind oft sehr verschieden. Das von städtischen Gasanstalten gelieferte Leuchtgas hat durchschnittlich pro Kubikmeter, von 0,53 Kgr. Gewicht, einen theoretischen Heizwerth von 6600 Calorien und verbraucht zu seiner Verbrennung den Sauerstoff von ungefähr 8,5 Kgr. Luft (entsprechend 6,6 Kubikmeter Luft bei 0° unter mittlerem Atmosphärendruck), so dass, unter der Voraussetzung einer Entweichung der Verbrennungsprodukte mit einer Temperatur von 100° C., der Grenzwerth des höchsten Temperatureffektes etwa 2900° C. betragen würde, wenn nicht der grösste Theil der Verbrennungswärme des Leuchtgases durch Verbrennen von Wasserstoff zu Wasser entstände, welches mit Sicherheit nur eine Temperatur von 2000° C. zulässt.

In der That ist diese Temperatur in nächster Nähe der Verbrennung noch erreichbar, wenn die Verbrennungsgase hier nicht mehr als ein Drittel der günstigsten Falles entwickelten Wärme (d. i. 2200 Cal.) an die Umgebung abgeben.

Zu den Leuchtgasen gehört auch das sogenannte „carburirte Wassergas“. Dasselbe wird in der Weise gewonnen, dass man bei der Erzeugung des früher erwähnten Wassergases den sich zersetzenden Wasserdampf entweder durch eine Retorte streichen lässt, in welcher Oel, Harze oder Gaskohle, auch Braunkohle, Torf, Schiefer etc. destillirt wird, oder indem man den in Zersetzung begriffenen Wasserdampf mit Steinkohlentheer zusammenbringt. Dieses carburirte Wassergas dürfte indessen wohl nur in Ausnahmefällen zu Heizungszwecken verwendet werden.

III. Zusammenstellung der Eigenschaften der verschiedenen Brennmaterialien.

Aus den vorstehenden Einzelbetrachtungen ersieht man, dass Brennmaterialien einer und derselben Art oft sehr verschiedene Heizwerthe haben und dass der Nutzen, den dieselben überhaupt ergeben können, vielfach auch wesentlich von der Vorbehandlung abhängt. Ausserdem haben diese Betrachtungen schon erkennen lassen, dass die vortheilhafte Ausnützung der Brennmaterialien auch von der Bedienung der Feuerung und von der Einrichtung der Feuerungsanlage beeinflusst werden kann.

Sieht man vorläufig von den beiden letzteren Faktoren ab, so hat man aus den Einzelbetrachtungen über die Brennmaterialien die folgenden Schlüsse zu ziehen:

1) Die Entzündbarkeit eines festen oder flüssigen Brennmaterials ist um so grösser, je geringer die Dichtigkeit desselben ist und je leichter es bei der Erhitzung brennbare Gase ausscheidet. Die Entzündbarkeit der gasförmigen Brennmaterialien ist im Allgemeinen grösser, als die der festen und flüssigen (sie entzünden sich übrigens um so leichter, je mehr Sauerstoff und je weniger unbrennbare Gase und Dämpfe ihnen beigemischt sind).

2) Die Flammbarkeit eines festen oder flüssigen Brennmaterials ist um so grösser, je mehr kohlenstoffhaltige Gase es bei seiner Verbrennung ausscheidet, oder — was ungefähr dasselbe besagt — je mehr es geneigt ist, unvollkommen zu verbrennen, was insbesondere dann der Fall ist, wenn die bei seiner Verbrennung entstehende Temperatur zufolge eigenen grossen Wassergehaltes vermindert wird.

3) Die von einem Brennmaterial entwickelte Wärme lässt sich um so leichter zusammenhalten und demzufolge der Temperatureffekt des Brennmaterials um so leichter erhöhen, je mehr dieses befähigt ist selbst eine Schutzhülle gegen Abkühlung zu bilden, die den Zutritt der nöthigen Verbrennungsluft nicht hemmt. Diese Eigenschaft besitzen

insbesondere die backfähigen Brennmaterialien, wenn ihnen die Verbrennungsluft von unten oder doch durch die Brennstoffmasse selbst hindurch zugeführt wird. Backfähig sind aber nur Steinkohlen, welche einen bestimmten Gehalt an überschüssigem Wasserstoff besitzen; doch kann man bei staubförmigen Steinkohlen, deren Gehalt an Wasserstoff etwas zu gering ist um von Natur hinreichende Backfähigkeit zu sichern, diese durch geringen Wasserzusatz begünstigen oder auch durch Mischen mit gutbackender Kohle unterstützen. (Uebrigens macht ein geringer Zusatz von Steinkohlentheer jede Kleinkohle backfähig.)

4) Starker Gehalt an unverbrennlichen, Asche ergebenden Bestandtheilen eines Brennmaterials vermindert den Temperatureffekt desselben erheblich, wenn die den Brennstoff umhüllende Asche nicht fortwährend ohne Abkühlung des ersteren entfernt wird. Auch hindert die verhüllende Asche den Luftzutritt dermaassen, dass die Verbrennung nur unvollkommen (zu Kohlenoxydgas) erfolgt.

5) Brennmaterialien, wie Holzkohle, Torfkohle, Anthracit und Koks, deren Entzündungstemperatur, zufolge sehr geringen Gehaltes an vergasungsfähigen brennbaren Bestandtheilen, sehr hoch liegt, ergeben auch immer eine hohe Temperatur, bedürfen aber eines lebhaften Luftzuges und mit Ausnahme von Holzkohle, Lohkohle und Torfkohle einer hohen Schichtung zur Erhaltung ihrer Verbrennung, die übrigens nahezu oder völlig rauchfrei erfolgt.

6) Gasförmige Brennmaterialien sind nicht nur leicht entzündbar, sondern ergeben auch leicht einen hohen Temperatureffekt, der jedoch niemals 2000° C. übersteigt.

7) Rasch verbrennendes Brennmaterial brennt immer ökonomisch ungünstiger, als langsam verbrennendes von gleicher Art, weil es entweder unvollkommen verbrennt, oder eines grösseren Luftüberschusses zu seiner Verbrennung bedarf als das langsamer verbrennende.

Für den allgemeinen Vergleich des Nutzwerthes der verschiedenen Brennmaterialien ist die folgende Tabelle IX für

mittlere Verhältnisse unter der Voraussetzung verwendbar, dass man es in jedem Falle mit gleichvortheilhaft eingerichteter Feuerungsanlage und gleichguter Bedienung der Feuerung zu thun habe, sowie unter der Voraussetzung, dass die Verbrennung ohne künstliche Hilfsmittel bewirkt werde.

Tabelle IX.

Material in lufttrockenem Zustand	absoluter, bezw. theoretischer Heizwerth in Calorien	Entzündungstemperatur in Celsiusgraden	denkbar höchster Temperatureffekt in Celsiusgraden	mittlerer Temperatureffekt in Celsiusgr. unter günstigen Verhältnissen
Holz**	2420—3580	150—350	1200	800—900
Rothholz*	im Mittel 4500	300—400	1200	950
Rothholzkohle*	5370—6510	300—450	1500	1200
Schwarzholzkohle	6400—7200	500—800	2000	1500
Lohkuchen, locker*	im Mittel 2400	etwa 150	500	300
„ fest gepresst*	„ „ 3000	„ 250	900	500
Torf, locker*	2400—3000	„ 200	600	300
„ fest gepresst*	3500—4500	„ 400	1100	900
Torfkohle, fest	im Mittel 5600	„ 700	1600	1200
Braunkohle: Lignite*	3410—3880		900	650—750
Erdkohle*	4440—4930	400—500	1050	700—850
Gagate*	5010—5650		1300	1000—1200
Steinkohle: Backkohle**	im Mittel 7680	etwa 300	2000	1500
Sinterkohle**	5075—8000	300—350	1300—2000	950—1500
Sandkohle*	im Mittel 5870	350—450	1500	800—1000
Anthracit	6600—8000	700—900	2000	1500
Koks	6870—7440	500—800	1800—1900	1500
Kohlenbriquettes**	3600—5000	300—400	900—1200	700—1000
entwässerter Theer**	6000—9000	200—300	1200—2000	1000—1700
Petroleum**	9500—10830	120—300	1800—2000	1300—1750
Gichtgase**	450—700	etwa 350	1800	1200—1600
Generatorgase**	600—1100	„ „	1400—1900	1200—1700
Wassergas**	2650—6000	450—600	2000	1400—1800
Leuchtgas**	6000—7000	200—350	2000	1400—1800

Die in dieser Tabelle mit ** bezeichneten Brennmaterialien sind befähigt, mit sehr langer und dann zumeist sehr rauchiger Flamme zu brennen, während die mit * bezeichneten Brennmaterialien mittelgrosse, oft im Laufe der Verbrennung sehr klein werdende oder ganz verschwindende Flamme ergaben,

aber im Allgemeinen rauchig verbrennen. Die ohne besonderes Zeichen angeführten Brennmaterialien brennen in der Regel nur mit kleiner, oft kaum sichtbarer Flamme und mit sehr geringer Rauchentwickelung oder völlig rauchfrei.

IV. Wärmeabgabe der Brennmaterialien durch Strahlung und Leitung.

Bei der Beurtheilung des Nutzwerthes der Brennmaterialien muss auch die Art der Wärmeabgabe derselben in Betracht gezogen werden.

Es ist bekannt, dass bei gleicher Schütthöhe festes Brennmaterial um so vortheilhafter brennt, je enger die Feuerstelle ist. Der Grund dafür ist darin zu suchen, dass durch die Einengung der Feuerstelle die freie Oberfläche des Brennmaterials vermindert wird und dass demzufolge im Augenblick der Verbrennung weniger Wärme an die kühleren Wände des Feuerraumes ausgestrahlt wird, als wenn die freiliegende Oberfläche des Brennmaterials grösser ist, woraus wiederum folgt, dass die Feuergase selbst mehr Wärme behalten, somit eine höhere Temperatur annehmen und deshalb vollkommener verbrennen, wenn die freie Oberfläche des Brennmaterials möglichst klein ist.

Diese freie Oberfläche ist bei verschiedenen Brennmaterialien nur insoweit verschieden, als dieselben in verschiedener Dicke zur Verfeuerung kommen und in Folge dessen nicht alle gleichmässig im Feuerraume geebnet werden können. Man wird daher diejenigen Brennmaterialien, welche ohne erhebliche Verminderung ihres Nutzwerthes hinreichend verkleinert werden können, um ihre Schüttfläche gut zu ebenen, in Hinsicht auf Verminderung der wärmeausstrahlenden Oberfläche vortheilhafter in verkleinertem Zustand verwenden, während man bei den im hinreichend zerkleinerten Zustand wesentlich unvortheilhafter verbrennenden Brennmaterialien, z. B.

bei hartem Holz, mit relativ grösserer wärmeausstrahlender Fläche rechnen muss.

Für die Wärmeausstrahlung von Bedeutung ist auch die Beschaffenheit der Oberfläche des Brennmaterials, jedoch nur insofern, als deren Dichtigkeit in Betracht kommt, da die Wärmeausstrahlung bei Brennmaterialien von dichterer Oberfläche geringer ist, als bei solchen von weniger dichter Oberfläche.

Aus diesem Grunde ist also dichter Koks vortheilhafter verbrennbar als weniger dichter Koks, insoweit bei seinem Verbrennen die Wärmestrahlung wesentlich in Frage kommt und es sind Anthracit sowie Fettkohle, auch hinsichtlich ihrer geringeren Wärmeausstrahlung, vortheilhafter verbrennbar als Staubkohle.

Die Wärmestrahlung des Brennmaterials ist, wie später gezeigt werden wird, von so grosser Bedeutung, dass man selbst auf geringe Verschiedenheiten der Oberflächengrösse und Oberflächenbeschaffenheit zu achten hat, wenn man einen bestimmten Wärme- oder Temperatureffekt in vortheilhafter Weise sicher erzielen will.

Hinsichtlich der Wärmeabgabe der Brennmaterialien durch Leitung ist zu bemerken, dass dieselbe ausser von der Gesammtoberfläche und der Fortleitungsfähigkeit des Brennmaterials, auch von der Form des letzteren abhängt und um so grösser ist, je dichter und kleiner die Brennmaterialstücke sind. Da sich aber die Wärmeleitung nur insoweit für den Temperatureffekt und den Wärmeeffekt als ungünstig erweist, als das Brennmaterial mit kühlerer Wandung und mit überschüssiger Luft in Berührung steht, so kommt hinsichtlich der Beeinträchtigung des Nutzwerthes des Brennmaterials durch Leitung in der That nur die Materialdichte und die Ascheausscheidung desselben in Betracht, die letztere jedoch nur insoweit, als sie den Luftzug nicht hemmt und es ergiebt sich hiernach, dass ein mässiger Aschegehalt bei grosser Berührungsfläche des aufgeschichteten Brennmaterials an der Ofen-Wandung oder an überschüssiger Luft (eventuell an der freien Luft), wegen der schlechten

Wärmeleitungsfähigkeit der Asche unter Umständen vortheilhaft sein kann.

Was **flüssiges** Brennmaterial betrifft, so ist hinsichtlich der Wärmeausstrahlung zu bemerken, dass dieselbe durchschnittlich wesentlich grösser ist, als die der festen Brennmaterialien und wahrscheinlich um so grösser, je dickflüssiger das Brennmaterial ist, welche Beschaffenheit zusammenfällt mit der Eigenschaft, leicht mit starker Rauchentwickelung zu verbrennen.

Die **Wärmefortpflanzungsfähigkeit** der flüssigen Brennmaterialien und der gasförmigen ist sehr viel geringer, als die der festen Brennmaterialien. Bei unmittelbarer Berührung brennender Theile von Flüssigkeiten und von Gasen mit kühler Wandung oder kühlerer Luft, kommt ausser der Grösse der Berührungsfläche lediglich die Wärmeaufnahmefähigkeit dieser Wandung oder Luft in Frage.

Was die Wärmeabgabe gasförmiger Brennmaterialien durch Strahlung betrifft, so ist zu bemerken, dass dieselbe von der Ausdehnung abhängt, welche die Gase während ihrer Verbrennung annehmen und unter sonst gleichen Verhältnissen um so grösser ist, auf je längeren Weg die Verbrennung sich erstreckt, d. h. je länger die Flammen sind oder, was dasselbe besagen will, je mehr die Gase zur Rauchentwickelung befähigt sind.

Ganz allgemein ist zu bemerken, dass die Wärmeabgabe aller Brennmaterialien durch Strahlung in ganz gewaltigem Maasse mit der Temperaturdifferenz zwischen dem Brennstoff und der die Wärmestrahlen aufnehmenden Wand wächst und daher bei Brennmaterialien, welche einen hohen Temperatureffekt ergeben, leicht bedeutend grösser wird als bei solchen Materialien, deren natürlicher Temperatureffekt gering ist. Die Wärmevertheilung durch Leitung wächst in weit geringerem Maasse mit der Differenz zwischen der Temperatur des Brennmaterials und der Temperatur der dasselbe berührenden Körper.

Dritter Abschnitt.

Anleitung zur Ausführung zweckmässiger Feuerungsanlagen.

---

1. Grundprincipien der Feuerung und der Feuerungseinrichtung.

Um mit festem Brennmaterial ein lebhaftes Feuer zu erzeugen und zu unterhalten, ist es nöthig, zahlreiche brennende Theile des Brennmaterials in unmittelbare Nähe zu einander zu bringen und demgemäss eine mehr oder weniger grosse Masse von Stücken desselben auf einander zu häufen, um ihre brennenden Stellen gegen Abkühlung zu schützen, weil die Erzeugung und Unterhaltung eines lebhaften Feuers die Entwickelung und Erhaltung einer die Entzündungstemperatur übersteigenden Temperatur erfordert.

Je höher die Entzündungstemperatur des Brennmaterials ist, desto mehr muss man darauf bedacht sein, das brennende Material gegen vorzeitige Abkühlung zu schützen und das frische Brennmaterial vor seiner Verbrennung gehörig vorzuwärmen, was man gleichzeitig durch entsprechend hohe Schüttung erreichen kann.

Da die Temperatur insbesondere von der Gewichtsmenge der durch die entwickelte Wärme erhitzten Gasmasse abhängt, zu welcher die herbeiströmende Frischluft den grössten Antheil liefert, so ist zur Erzielung eines lebhaften Feuers auch darauf zu achten, dass die Frischluft nicht in allzugrossem Uebermaasse in das

Feuer einströme und dieses als abkühlender Faktor allzusehr beeinflusse.

Brennmaterialtheile, welche von frischer Luft bestrichen werden, werden durch dieselbe fortwährend abgekühlt und kommen daher, wenn ihre luftberührte Oberfläche und die vorbeiströmende Frischluftmenge gross sind, nur sehr schwer und bei einigermaassen hochliegender Entzündungstemperatur überhaupt nicht zur Verbrennung, wenn nicht die ihnen von den brennenden Theilen her übermittelte Wärmemenge ihre eigene Wärmeabgabe in beträchtlichem Maasse überwiegt. Wenn übrigens ein solches Ueberwiegen auch wirklich stattfindet, so wird doch immer die übermässig zuströmende Frischluft auf Kosten der an ihrer Berührungsstelle stattfindenden Wärmeentwickelung ausgedehnt und befähigt den Platz einzunehmen, welchen die an anderer Stelle entwickelten Feuergase einnehmen sollten, indem sie deren Strömung hintanhält. Dies ist jedoch noch der geringste Nachtheil, den die an irgend einer Stelle übermässig zuströmende Frischluft bewirkt, während sie in weniger günstigen Fällen, vermöge ihrer abkühlenden Wirkung auch Veranlassung dafür sein kann, dass eine sehr unvollständige Verbrennung des Brennmaterials überhaupt erfolgt.

Zieht man beispielsweise ein Brennmaterial in Betracht, welches bei schon wenig hoher Temperatur grosse Mengen Kohlenwasserstoffgase oder, wie z. B. Holz, grosse Mengen einer aus Kohlenstoff und chemisch gebundenem Wasser bestehenden Gasart ausscheidet, so bietet die Flammenentwickelung noch keineswegs eine Gewähr dafür, dass die gasartigen Ausscheidungen sich vollständig zersetzen und ihre beziehentlichen Bestandtheile verbrennen. Zwar beginnt die Zersetzung der gasartigen Ausscheidungen sofort mit der Rothgluth, welche die Bezeichnung „Flamme" schon rechtfertigt, allein erst die Weissgluth bietet einige Sicherheit dafür, dass die Zersetzung eine durchgängige ist; wirkliche Weissgluth aber bedingt in jedem Falle eine Temperaturhöhe von mindestens 1000° C., welche bei Holzfeuerung nur höchst selten und auch bei gewöhnlicher

Steinkohlenfeuerung sehr oft nicht erreicht wird. Je weiter die Temperatur aber unter 1000° oder die Flammenfärbung von derjenigen der Weissgluth entfernt ist, desto unvollständiger geht die Zersetzung der Gasausscheidungen vor sich und desto unvollkommener ist die Verbrennung, so dass jede Verminderung der Temperatur durch übermässige Zuströmung frischer Luft nicht nur eine Verminderung der Lebhaftigkeit des Feuers, sondern auch eine mehr oder weniger bedeutende Verminderung der Vollständigkeit der Verbrennung bedingt.

Das Gleiche gilt übrigens auch für solche Brennmaterialien, welche nur sehr wenige oder überhaupt keine anderen gasförmigen Produkte als eben Verbrennungsprodukte ausscheiden.

Wohl wird einmal gebildete Kohlensäure durch Abkühlung allein nicht wieder zu Kohlenoxydgas reducirt und Kohlenoxydgas nimmt auch schon in einer Temperatur von 400° C. Sauerstoff aus reiner Luft auf, nicht aber aus Luft, welche mit Kohlensäure gemischt ist, vielmehr bedingt die Zugängigkeit des Sauerstoffs der Luft eine um so höhere Temperatur, je mehr Kohlensäure ihr beigemischt ist und man kann selbst bei bester Mischung der Feuergase mit überschüssiger Luft nicht unter 1000 bis 1200° C. eine sichere Verbrennung allen Kohlenoxydgases zu Kohlensäure erwarten. Dazu kommt ausserdem noch, dass Kohlensäure, welche von der freiherzuströmenden und sich plötzlich durch Erhitzen bedeutend ausdehnenden Luft über glühende Kohlen hinweggedrängt (oder auch mit glühenden Kohlenwasserstoffen in Vermischung gebracht wird) oder in einem Temperaturzustand, der 500° C. überschreitet, überhaupt mit Kohlen oder mit Kohlenwasserstoffen in dichte Berührung gebracht wird, leichter von ihrem Sauerstoff an diese Brennstoffe abgiebt, als die überschüssig vorhandene Luft, so dass also die Kohlensäure auf Kosten der Neubildung von Kohlenoxydgas aus den mit ihr zusammengebrachten Brennstoffen, selbst zu Kohlenoxydgas reducirt wird, wobei noch eine bedeutende Wärmemenge latent (gebunden) wird.

Aus allen diesen Betrachtungen geht klar hervor, dass man zur Erzielung eines wirkungsvollen lebhaften Feuers darauf zu achten hat, dass die Brennmaterialmasse nicht unmittelbar von grösseren Mengen kühlerer Luft bestrichen werde und zwar dürfen solche weder seitlich von unten, noch unmittelbar über der Brennmaterialschichtung in die Feuerung eintreten.

Will man von der Seite her über der Brennmaterialschichtung einen Theil der nöthigen Verbrennungsluft in den Feuerraum einströmen lassen, wie es ja vielfach gebräuchlich und, aus sogleich zu besprechenden Gründen auch zweckmässig ist, so darf dies nur in und unter Verhältnissen geschehen, welche eine Abkühlung des Brennmaterials selbst und der ohne diese seitliche Luftzuführung entwickelten Feuergase sicher ausschliessen.

Bei den industriellen Feuerungsanlagen, bei welchen das Oeffnen einer den ganzen Feuerraum nach aussen frei legenden Feuerthür für das Aufschütten (Beschicken) frischen Brennmaterials unvermeidlich ist, ergiebt sich die Nothwendigkeit der Anordnung von Hilfsmitteln, welche das Eindringen grösserer Luftmassen in den Feuerraum durch die Feuerthüröffnung hindurch verhüten, was insbesondere vielfach dadurch geschieht, dass man beim Oeffnen der Feuerthür gleichzeitig einen den Abzug der Verbrennungsgase regulirenden Schieber (den Rauchschieber) theilweise schliesst, wodurch bewirkt wird, dass in den Feuerzügen eine heisse stagnirende Luftmasse verbleibt, deren Spannkraft dem Eindringen der schwereren Aussenluft einigermaassen widersteht.

Von dem aufgehäuften Brennmaterial wird natürlich diejenige Schicht, welche am längsten der Verbrennung unterliegt, auch jeweils am vollkommensten verbrannt sein. Strömen nun die Feuergase von unten nach oben durch die verschiedenen später aufgegebenen Schichten hindurch, so wird von der in den unteren Schichten entstehenden Kohlensäure jeweils wieder ein Theil durch Berührung mit höhergelegenen Schichten zu Kohlenoxydgas reducirt und zwar in um so reichlicherem

Maasse, je weniger Sauerstoff (oder unzertheilte Verbrennungsluft) mit ihr durch diese höhergelegenen Schichten hindurchströmt. Die aus den letzteren weiterziehenden Feuergase werden daher naturgemäss immer reicher an Kohlenoxydgas und ärmer an Kohlensäure sein und es ergiebt sich hiernach, dass aus der gesammten Brennmaterialmasse umsomehr Kohlenoxydgas und umsoweniger Kohlensäure ausscheiden wird, je höher dasselbe aufeinander geschichtet und auch je kleiner der freie Luftbewegungsraum jeder Schichte ist, und zwar des letzteren Grundes wegen deshalb, weil dementsprechend umsoweniger Verbrennungsluft mit den Feuergasen durch die Brennmaterialmasse zu den oberen Schichten gelangt.

Wird die oberste glühend gewordene Schichte mit frischem Brennmaterial bedeckt, so wird dieses zunächst auf Kosten der Temperatur der von unten her hindurchstreichenden Feuergase bis auf die Verbrennungstemperatur vorgewärmt und nur insoweit gleichzeitig theilweise verbrannt, als die ihm zuströmenden Feuergase hierbei noch hinreichend hohe Temperatur behalten.

Vor Allem wird dabei noch ein mehr oder weniger grosser Theil der in den Feuergasen enthaltenen Kohlensäure zu Kohlenoxydgas reducirt und damit, wie schon oben erwähnt, eine grosse Menge Wärme gebunden.

Zugleich entwickeln sich aus dem frischen Brennmaterial mehr oder weniger grosse Mengen von Destillationsprodukten, die zunächst ebenfalls nur Wärme binden, und zwar entwickeln sich solche Destillationsprodukte bei entsprechendem Gehalt des Brennmaterials an vergasbaren Bestandtheilen in um so reichlicherem Maasse je länger es dauert, bis die ganze frisch aufgeschichtete Masse auf die Höhe der nöthigen Verbrennungstemperatur vorgewärmt ist; insbesondere also in um so reichlicherem Maasse, je dicker die Schichte der frischen Brennmaterialmasse ist, je weniger hoch die Temperatur der zu ihr gelangenden Feuergase ist und je mehr dieselben an Kohlensäuregehalt durch Reduktionsprozess verlieren, was

wiederum um so reichlicher der Fall ist, je dicker und dichter die neue Beschickung ist.

Es resultirt aus dieser Betrachtung, dass man, um infolge des Beschickens einen möglichst geringen Wärmeverlust zu erleiden, das frische Brennmaterial in möglichst dünner und möglichst lockerer Schichtung aufgeben muss. Je dünnere Schichten man aber aufgiebt, desto häufiger muss man die Beschickung wiederholen und desto öfter muss man, wenn hierzu eine Feuerthür geöffnet werden muss, den Feuerraum der kalten Aussenluft preisgeben, womit unter Umständen doch ein grösserer Wärmeverlust bedingt ist, als mit dem Aufgeben dickerer Brennmaterialschichten.

Wenn man deshalb nicht über Vorrichtungen zum continuirlichen Aufschütten von Brennmaterial in sehr dünner gleichmässiger Vertheilung verfügt, so muss man die Beschickung schon in solchem Maasse vornehmen, dass sie in nicht allzu rascher Folge wiederholt zu werden braucht; immerhin aber wird es sich für industriellen Betrieb im Allgemeinen empfehlen, nicht mehr als 15 Minuten zwischen den einzelnen Beschickungen verstreichen zu lassen. Es haben diese dann immer in gleichmässiger Dicke und in möglichst kurzer Zeit zu erfolgen.

Wegen der bei zeitweiliger Ueberdeckung glühender Kohlen mit frischem Brennmaterial geradezu bedingten unvollkommenen Verbrennung mittels der von unten heraufsteigenden Luft bis zum Zeitpunkt des jeweiligen Wiedereintrittes günstiger Verbrennungstemperatur, ist für Feuerung solcher Art sekundäre Zuführung von Verbrennungsluft über der Brennmaterialmasse unerlässlich. Dabei sind dann die weiter oben erörterten Verhältnisse in Betracht zu ziehen, welche es vor Allem nothwendig machen, die Zuströmungsöffnungen mindestens in eine Höhe von 200 bis 350 Millim. über die höchste Lage des Brennmaterials zu verlegen und zwar in einen Höhenabstand von 200 Millim. bei Verfeuerung von Brennmaterial, welches sehr arm an ausdestillirenden Stoffen ist und in einen

Höhenabstand von 350 Millim. bei Verfeuerung von Brennmaterial, welches an derartigen Stoffen sehr reich ist. Ein grösserer Höhenabstand bietet an sich keinen praktischen Erfolg, wenn die Lufteinströmung in wagerechter Richtung stattfindet, wobei übrigens dringend anzurathen ist, die Zuströmung ringsum um den ganzen senkrecht ansteigend gedachten Feuerraum auf zahlreiche Oeffnungen gleichmässig vertheilt anzuordnen, weil sonst eine Sicherheit für sofortige gute Vermischung der Luft mit den unvollkommen verbrannten Feuergasen nicht geboten wird. Eine schräge Abwärtsführung der sekundär zugeführten Verbrennungsluft in einen senkrecht ansteigenden Feuerraum bietet keine bessere Gewähr für gute Mischung als eine wagerechte Zuführung und gelten dabei für die Höhenlage der inneren Mündung ganz dieselben Bedingungen, wie für die Lage von wagerecht auslaufenden Zuleitungen. Eine Verbesserung könnte nur in einer Zuführung erblickt werden, welche der Bewegung der Feuergase direkt entgegen gerichtet wäre; eine solche lässt sich jedoch auf einfache Weise kaum erzielen.

Die Art der Zuführung und die Lage der Zuführungsöffnungen allein können übrigens den guten Erfolg noch nicht verbürgen, wenn man nicht zugleich auch darauf Rücksicht nimmt, dass die Vermischung der den Feuergasen zugeführten Luft mit diesen bei möglichst hoher Temperatur, bezw. bei einer Temperatur, die möglichst wenig unter 1000° bis 1200° C. liegt, erfolgen muss.

Es ergiebt sich hiernach die Nothwendigkeit für solche Fälle, in welchen die Feuergase durch dicke frische Brennstoffschichten stark abgekühlt werden, unter allen Umständen die ihnen nachträglich zugeführte Luft vorher selbst stark zu erhitzen, wenn in solchen Fällen ein möglichst guter Wärmeeffekt erzielt werden soll.

Auch dann wenn man nicht mit dicken Aufschüttungen zu rechnen hat, aber minderwerthiges Brenn-

material verfeuert, welches starke Gasmassen ausscheidet und dabei von Natur einen wenig hohen Temperatureffekt ergiebt, empfiehlt sich die Verwendung vorerhitzter Luft für die nachträgliche Zuführung zu den Feuergasen, und zwar am besten unter Pressung.

Die letztere Einrichtung empfiehlt sich auch dann, wenn man starke Feuerung auf kleinem Rost bewirken will, welcher ohne Pressung nicht die nöthige Luftmenge durchlässt und man zweckmässiger Weise Pressluft **unter** dem Rost **nicht** zur Verwendung bringen will. Ich sage hier „zweckmässiger Weise“, weil die Einführung gepresster Luft durch den Rost leicht zur Folge hat, dass diese Luft grosse Mengen leichter Kohlenpartikelchen unverbrannt (und natürlich auch Asche) in die Feuerzüge und zum Kamin hinaus mitreisst.

Wie schon aus den vorangehenden Betrachtungen zu entnehmen ist, kommt bei rationeller Feuerung auch sehr viel darauf an, dass das Brennmaterial recht locker aufeinander geschichtet ist und dass auch Schlacken die Luftwege nicht verstopfen. Aus dem letzteren Grunde wurde im vorhergehenden Abschnitte die Verfeuerung stark schmelzender Backkohle für Rostfeuerung als nicht geeignet bezeichnet. Es wurde auch bereits im vorhergehenden Abschnitt bemerkt, dass ein geringer Wasserzusatz zu wenig-backfähigen Kohlen den Temperatureffekt und bei Grieskohle insbesondere auch den Wärmeeffekt zu verbessern vermag; es wurde dabei aber einer wichtigen Eigenschaft des aus dem Wasser entstehenden Dampfes noch nicht gedacht, nämlich der Eigenschaft, die Brennmaterialschichten bei seinem gewaltsamen Durchdringen, vermöge seiner grossen Spannkraft zu lockern. Diese Eigenschaft ist, wie man nun übersieht, für die Verbesserung des Wärmeeffektes auch insofern von Werth, als sie die Erschliessung von zahlreichen Wegen für die Verbrennungsluft zur Folge hat und deshalb die vollständige Verbrennung des Brennmaterials wesentlich begünstigt.

Den gleichen Erfolg kann man nun auch dadurch erzielen, dass man Wasserdampf in die aufgeschichtete Brennmaterialmasse einströmen lässt, in welcher er durch Weitererhitzung eine ebenso grosse Spannkraft erlangt, als wenn er aus Wasserbeimischung (oder auch aus chemisch gebundenen Bestandtheilen) des Brennmaterials entstanden wäre. Um aber Wasserdampf billig zu erzeugen und in die Brennmaterialmasse einzuleiten, giebt es ein sehr einfaches und dabei für viele Fälle sehr vortheilhaftes Mittel, nämlich die Unterhaltung eines Wasserbades (oder auch nur häufigere Benässung der Asche) im Aschenfallraume (unter dem Rost), in welchem es durch die herabfallende heisse Asche und Schlackentheilchen verdampft wird.

Dieses einfache Mittel bietet beim Verfeuern von nichtbackendem Kohlengries den besonderen Vortheil, dass es die Schlackentheile dieses geringwerthigen Brennmaterials in bis jetzt noch nicht aufgeklärter Weise befähigt zu einem grossen luftigen Schwamm zusammen zu backen, welcher für den Kohlengries den vollkommensten Sparrost bildet, indem er der Verbrennungsluft ungehemmt Zutritt gewährt und selbst die kleinsten Kohlenpartikelchen nicht in den Aschenfallraum herabfallen lässt.

Wenn man in solchem Falle noch für innige Vermischung der Feuergase mit erhitzter Frischluft im Feuerraume Sorge trägt, so kann man mit dem sonst als sehr geringwerthig geltenden Brennmaterial einen sehr guten Wärmeeffekt und guten Temperatureffekt erzielen.

Es mag hier sogleich zur Erleichterung des Ueberblicks über die gemachten Andeutungen eine Feuerungseinrichtung, bei welcher ein Wasserbad im Aschenfallraum und Zuführung gepresster vorerhitzter Luft im Feuerraume vorgesehen ist, im Bilde vorgeführt werden. Die nachstehende Fig. 1 veranschaulicht eine derartige dem Märzbericht 1890 der Société des ingenieurs civils in Paris entnommene Einrichtung, bei welcher die erhitzte Druckluft durch Düsen eingeblasen wird, die unmittelbar nebeneinander um den in halbkreisförmigem Querschnitt gebauten Feuerraum herumgruppirt sind. Diese

Düsen liegen in wagerechter Lage 250 bis 300 Millim. über der obersten Brennstoffschichte und zwar, um sie vor der unmittelbaren Berührung der Flammen zu schützen, 100 bis 110 Millim. hinter der senkrechten Fläche des Feuerherdes zurück. Man kann solche Düsen in einem gemeinschaftlichen Ring aus feuerfestem Thon vereinigen, was ihren Einbau sehr erleichtert.

Fig. 1.

Die Luft, welche durch den Aschenfallraum und die Rostöffnungen in die Brennmaterialmasse einströmt, wird sofort in der untersten Brennmaterialschichte auf eine Maximaltemperatur erhitzt, weil in dieser Schichte die Verbrennung am vollkommensten von statten geht und die Temperatur am höchsten ist. In dem Maasse, in welchem der Weg des Luft- und Feuergasgemenges durch die aufeinanderliegenden Brennmaterialschichten zunimmt, wird nicht nur, in bereits erwähnter Weise, der Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt der Gase auf Kosten einer Bereicherung an Kohlenoxydgas und anderen brennbaren Gasen vermindert, sondern auch die Temperatur des Gemenges nimmt in einem gewissen Verhältniss zu dessen Bereicherung an brennbaren Stoffen (und zwar unter Umständen nicht unerheblich) ab, so dass es in dem freien Feuerraume, in welchem in sehr vielen Feuerungsanlagen die Wärmeentwickelung schon unmittelbar verwerthet werden soll, mit einem relativen Temperaturminimum anlangt, was insbesondere in solchen Fällen, in welchen es wesentlich auf einen hohen Temperatureffekt ankommt, unvortheilhaft ist.

Umkehrung der Feuergasbewegung. Denkt man sich dagegen den Aschenfallraum gegen die Aussenluft hin hermetisch abgeschlossen und derart eingerichtet, dass seine Wände möglichst wenig Wärme nach aussen durchlassen, und

denkt man sich ferner an den Aschenfallraum einen zum Orte der Wärmeausnützung hinführenden Feuerkanal angeschlossen, den Raum über der Brennmaterialschichtung aber von dem Orte der Wärmeausnützung abgeschlossen und nach der Aussenluft hin offen, so gelangt die Verbrennungsluft zunächst mit der wenigstheissen (ja vielleicht kaum warmen) Brennmaterialschichte in Berührung und in dem Maasse, in welchem sie sich der untersten in vollkommenster Verbrennung begriffenen Brennmaterialschichte nähert, nimmt sie gleichmässig an Temperatur zu, während sie zugleich anfangs nur brennbare Gase, in den der untersten Schichte zunächst liegenden Schichten aber auch Kohlensäure, gegen Sauerstoffaustausch aufnimmt und endlich in, bezw. jenseits der untersten Schichte mit höchster Temperatur anlangt und mit einer gewissen Sicherheit eine vollkommene Verbrennung der beigemischten brennbaren Stoffe bewirkt.

Die Vortheile, die sich aus dieser Umkehrung des Verbrennungsweges ergeben, sind zweifellos beachtenswerth; es steht dieser Umkehrung jedoch hindernd der Umstand entgegen, dass es kein Rostmaterial giebt, welches in der Hitze, die es bei solchem Verbrennungsgang erleiden würde, widerstandsfähig verbleibt. Es wird dieser Verbrennungsgang deshalb im Allgemeinen nur dann angewandt, wenn man ein Brennmaterial verfeuert, das eines Rostes nicht bedarf.

Eine Einrichtung dieser Art, welche sich insbesondere für längeres Holz eignet und unter der Bezeichnung **„Pultfeuerung“** bekannt ist, veranschaulichen die Fig. 2 u. 3 im Aufriss und im Grundriss. Dabei bezeichnet *a* die Oeffnung, durch welche das Holz in einen Schachtraum eingeworfen wird, der am unteren Ende eine schmälere Ausmündung *f* nach einem geräumigen Verbrennungsraum *d* hin hat, an den endlich ein Feuerzug *e* sich anreiht. Bei *b* ist eine Oeffnung zum Anheizen vorgesehen, welche, nachdem dieses vollzogen ist, luftdicht verschlossen und unter Umständen auch vermauert werden kann. Bei *c* endlich ist eine luftdicht verschliessbare Oeffnung zum zeitweiligen Wegräumen der Asche vorgesehen.

Um die Vortheile der abwärts, der Stelle vollkommenster Verbrennung zuströmenden Feuergase wenigstens theilweise auch bei der Verfeuerung eines Brennmaterials zu gewinnen,

Fig. 2.

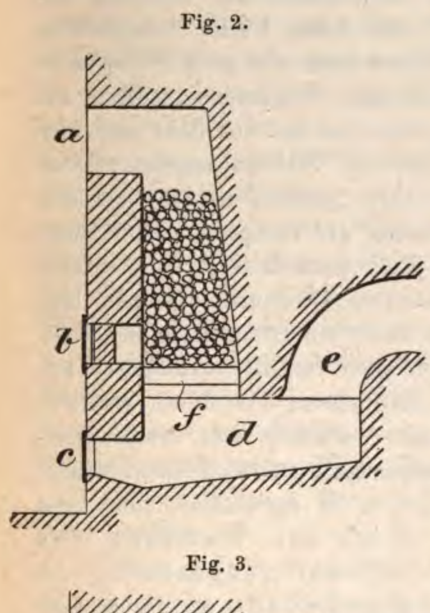


Fig. 3.

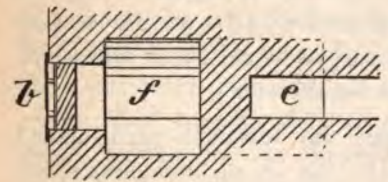


Fig. 4.



welches aus kleinen Stücken besteht, kann man sich des **Treppenrostes mit schräg abwärts gerichteter Ueberdeckung** bedienen (vgl. Fig. 4). Hierbei strömt zwar die Luft zwischen allen Treppenstufen durch die auf diesen liegende Brennstoffmasse hindurch, aber die von den oberen Treppenstufen weiterströmenden Gase kommen, indem sie an den tiefer liegenden Stufen vorbeiziehen, mit immer heisseren und in der Zersetzung weiter fortgeschrittenen Gasen in Vermischung und nehmen deshalb fortwährend an Temperatur zu; denn die auf der untersten Treppenstufe liegende Brennmaterialmasse wird, nach theilweise erfolgter Verzehrung, durch die auf der nächst höheren Stufe liegende Masse bis zur nöthigen Schichtenhöhe ergänzt und es wird, fortgesetzt bis zur zweithöchstliegenden Stufe, jeweils die Masse der tiefer liegenden Stufe durch die auf der nächst höheren liegende ersetzt, und nur die oberste Stufe wird mit frischem Brennmaterial be-

schickt. Dabei wird der Rost an allen Stellen aussen von frischer Luft bestrichen und deshalb allenthalben nur wenig angegriffen.

Dieser Feuerung kommt hinsichtlich der Wirkung zunächst die **Schüttfeuerung mit vom Feuer bespültem Brennmaterialbehälter** (Schütttrichter oder auch Füllschacht genannt, je nach seiner Ausführung), wenigstens insofern, als das Brennmaterial in diesem, bevor es auf den Rost und hier zur Verbrennung gelangt, bis zur Verbrennungstemperatur vorgewärmt wird und deshalb auch, indem es sich über den Rost ausbreitet, eine Verminderung der Temperatur der Feuergase nicht bewirkt. Frische Luft kann hierbei aber nicht durch die im Füllraum vorhandene Brennmaterialmasse hindurch einströmen, vielmehr bewirkt ein Offenhalten des Füllraumes nach aussen ein Entweichen von Brennstoffgasen aus ihm, weshalb man ihn mit luftdichtem Verschluss versieht. Dabei stagniren natürlich beim Verfeuern von destillationsfähigem Brennmaterial Destillationsgase in reichlichem Maasse in dem Füllraum und verursachen in demselben leicht eine ziemlich hohe Temperatur. Wird die Wandung des Füllraumes aus Metall (Eisen) hergestellt, so darf dieselbe jedenfalls nicht auch noch von den Feuergasen bespült werden, weil sie sonst sehr stark unter der Hitze leidet und bald durchbrennt.

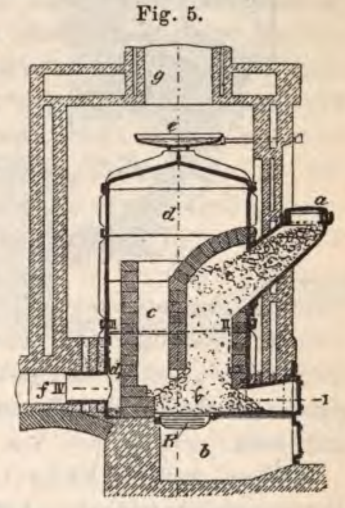
Insoweit die Destillationsgase im luftdicht nach aussen abgeschlossenen Füllraum durch ihr Ausdehnungsbestreben aus diesem hinausgedrängt werden, müssen sie natürlich über die auf dem Rost liegende glühende Brennmaterialmasse entweichen und mit demselben vollständig verbrennen.

Eine Einrichtung für solche Feuerung mit gemauertem Füllschacht veranschaulicht Fig. 5 an einem Ofen, der als Centralluftheizungsofen dient. Hierbei ist bei *a* die luftdichtverschliessbare Schüttöffnung, *R* ist der Rost, *c* der Raum, in welchem die Verbrennung vor sich geht, wozu die nöthige Luft vom Aschenfallraum her durch den Rost aufsteigt, mit welchem in gleicher Ebene eine luftdichtverschliessbare Oeff-

nung für das Anheizen und für das Entschlacken und Räumen des Rostes vorgesehen ist.

Bei derartigen Feuerungseinrichtungen ist, insbesondere bei Verfeuerung eines backenden Brennmaterials, darauf zu achten, dass dieses sich nicht im Füllschacht festsetzen kann, welcher Möglichkeit man durch Erweitern des Füllschachtes nach unten hin vorbeugt; man wählt die Erweiterung (in einer Richtung vorgenommen gedacht) bis zu 8 Proc. der Schacht-Höhe oder -Länge.

Fig. 5.



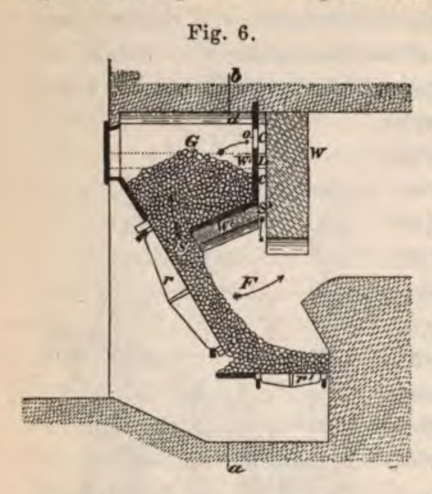
Insoweit der Schacht von kühler Luft bestrichen wird oder mit einem anderen kühlenden Medium in Verbindung steht, kann das sonst nöthige feuerfeste Material seiner Wandung natürlich auch durch Metall ersetzt werden.

Giebt man dem Füllschacht an möglichst hochgelegener Stelle eine Oeffnung nach dem Feuerraume hin, so entweichen die Destillationsgase aus ihm in den letzteren hinein und werden hier von den sich mit ihnen mischenden Verbrennungsgasen entzündet. Da hierbei aber die Kohlensäure dieser letzteren zu Kohlenoxydgas reducirt wird, so muss entweder durch überschüssige Lufteinführung durch den Rost oder, was aus früher erwähnten Gründen vortheilhafter ist, durch nachträgliche (sekundäre) Lufteinführung in senkrechter Richtung zur Feuergasbewegung oder in, dieser möglichst entgegengesetzter Richtung, für vollständige Verbrennung gesorgt werden.

Manche Feuerungstechniker rechnen derartige Feuerungseinrichtungen zur Generatorgasfeuerung und bezeichnen sie, wegen des unmittelbaren Zusammenhangs des Vergasungsraumes des Brennmaterials mit dem Verbrennungsraum, wohl

auch als Halbgasfeuerungseinrichtungen. Ein Beispiel derartiger Feuerungseinrichtungen veranschaulicht Fig. 6.

Fig. 6.



In derselben bezeichnet *G* den niedrig und weit gewählten Füllraum, in welchem die Destillation des frisch aufgefüllten Brennmaterials vor sich geht. Der Abzug der Destillationsgase erfolgt durch eine Oeffnung *o* einer gusseisernen Wand *W'*. Zwischen dieser und einer gemauerten Wand *W* strömt sekundäre Verbrennungsluft durch seitliche Canäle *L* vorgewärmt herzu, vermischt sich mit den Destillationsgasen und strömt mit diesen abwärts dem Feuerraume *F* über den beiden Rosten *r* und *r'* zu.

Wenn man schräg liegende Planroste von der Art verwendet wie sie *r* veranschaulicht, so muss man denselben eine solche Neigung geben, dass das Brennmaterial über ihnen von selbst eine gleichmässige oder eine, nach unten hin jedenfalls nicht erheblich zunehmende Schichtendicke einnimmt. Man hat zu diesem Zweck zu beachten, dass das seiner Schwere frei überlassene Brennmaterial immer das Bestreben hat, so lange auf schräger Bahn abwärts zu rollen, bis diese selbst, vermöge ihrer Neigung gegen die Senkrechtebene, der rollenden Bewegung einen zu grossen Reibungswiderstand entgegensetzt. Es nimmt dann der Brennmaterialhaufen seine natürliche Böschung ein, d. h. eine bestimmte Neigung seiner oberen natürlichen Begrenzungsfläche gegen die wagerechte Ebene an, welche Neigung von der Natur des Brennmaterials abhängt und im Allgemeinen umso kleiner ist, je trockener und je leichter das verfeuerte Brennmaterial ist. Es würde sich hiernach, weil ja die meisten *Brennmaterialien* mit fortschreitender Verbrennung immer

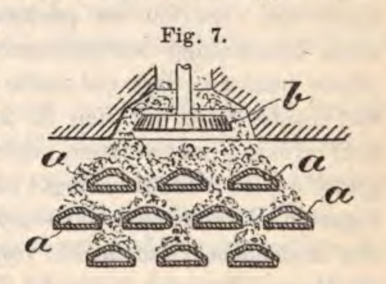
trockener und leichter werden, die Nothwendigkeit ergeben, den Rost etwas weniger steil zu legen als die natürliche Schräge der oberen Fläche des lufttrockenen Brennmaterials im Vorrathshaufen; doch macht backendes Brennmaterial eine Ausnahme insofern, als es nach dem Zusammenbacken weniger leicht nachrutscht als vorher, so dass dieses Brennmaterial für selbstthätiges gleichmässiges Nachrutschen eine steilere Lage des Rostes benöthigt und zwar ergiebt sich für stark backendes, wenig Schlacke ergebendes und nicht schmelzendes Brennmaterial eine Neigung des Rostes gegen die wagerechte Ebene bis zu 55° als zulässig, während für trockenes oder wenig backendes Brennmaterial ein Neigungswinkel von nur 30 bis höchstens 40° zulässig ist.

Backendes, viel Schlacke ergebendes und schmelzendes Brennmaterial ist für Schüttfeuerung mit schrägem Planrost nicht zu empfehlen, weil es überhaupt nicht gleichmässig nachrutscht und auf dem schrägen Rost noch grössere Sorgfalt des Heizers erfordert, als auf wagerechtem oder nur schwachgeneigtem Planrost.

Auch pulverförmiges Brennmaterial wird vielfach in Füllfeuerungseinrichtungen verbrannt.

Früher verfeuerte man pulverförmiges Brennmaterial auf staffelförmig übereinander liegenden, an abwechselnd entgegengesetzten Stellen dem Brennstoff und den Feuergasen Durchzug gestattenden Platten (die wohl auch mit einer grösseren Anzahl Löcher versehen waren, um kegelförmig ausgehölte Brennstoffhaufen für den Durchzug der Luft zu bilden). Später wurde pulverförmiges Brennmaterial mechanisch über mehrere übereinander liegende, gegenseitig versetzte Bänke aus feuerfestem Thon ausgestreut, wie es in Fig. 7 schematisch angedeutet ist, in welcher Figur *a* die betreffenden Thonbänke und *b* ein Reaktionsrad bezeichnet.

Fig. 7.



Durch Hohlräume der Thonbänke *a* in der hier skizzirten Ausführungsart liess man die Verbrennungsluft vor ihrem Einströmen in den Verbrennungsraum hindurchstreichen, um sie selbst (die Luft) vorzuwärmen und zugleich die Thonbänke abzukühlen und dadurch vor rascher Zerstörung durch die Hitze zu bewahren. Lässt man bei solcher Einrichtung die Luft von unten nach oben im Zickzackzug durch die Thonbänke hindurch und sodann oben in den Verbrennungsraum einströmen, in diesem selbst aber wieder abwärts strömen, so kann man eine sehr gute Verbrennung und einen guten Wärme- und Temperatureffekt des in gleicher Richtung herniederrieselnden Brennstoffstaubes erzielen, wenn man die Luftmenge dem Brennstoffverbrauch entsprechend reguliren kann. Indessen ist zu bemerken, dass alle beweglichen Theile im Innern eines Feuerraumes leicht unter der Hitze leiden und dass die Bänke aus sogen. feuerfestem Thon eben doch mit der Zeit durchbrennen und auch zerspringen können.

Das Reaktionsrad lässt sich übrigens auch durch zahlreiche Oeffnungen eines Füllraumes ersetzen.

Neuerdings hat man damit begonnen Kohlenpulver zuerst mit Benutzung eines Stromes überhitzten Dampfes und später mit Benutzung eines Stromes stark erhitzter Luft in den Feuerraum einzublasen und zu zerstäuben und ev. unmittelbar an der Einblasemündung noch weiter mit Verbrennungsluft zu vermischen. Die Erfolge werden als sehr günstige bezeichnet; doch liegen längere praktische Erfahrungsresultate darüber nicht vor. Da ich im nächsten Abschnitt noch einmal auf diese Einrichtung zurückkommen werde, so sei hier nur in Kürze bemerkt, dass ein stark erhitzter Dampfstrom, welcher den Kohlenstaub mit sich in den Feuerraum hineinreisst, eine sehr grosse Flammenlänge, aber keineswegs nothwendig Weissgluth der Flammen bedingt; diese wird zweifellos unter geeigneten Verhältnissen insoweit eintreten, als die verbrennenden Kohlentheilchen nicht vorzeitig mit kühlen Flächen in Berührung kommen, während sie im Falle solcher vorzeitigen Berührung nur zu Kohlenoxydgas verbrennen oder unverbrannt mit den Verbrennungsgasen entweichen. Die Verwendung

stark erhitzter Gebläseluft kann unter Umständen zweckmässig sein, erfordert aber immer einen weiten Verbrennungsraum. Jedenfalls dürfen nicht wesentlich grössere Erwartungen an die neue Staubfeuerungseinrichtung gestellt werden, als sie jede andere rationell angelegte und betriebene Feuerungseinrichtung auch gewährt. Sie gewährt die gleichen Vortheile wie eine zweckmässig angelegte Schüttfeuerung und bietet die Möglichkeit einer sicheren Mischung des Brennstoffs mit der nöthigen Verbrennungsluft. Dem Brennstoff beigemischter hocherhitzter Dampf absorbirt zwar keinen erheblichen Wärmebetrag, gewährt aber auch keine anderen Vortheile als eine gute Zerstäubung des Kohlenpulvers und demzufolge eben die Möglichkeit einer guten Mischung desselben mit der Verbrennungsluft, woraus indessen noch nicht mit Sicherheit zu schliessen ist, dass auch der Sauerstoff der Luft hier den Brennstofftheilen wesentlich leichter zugängig ist als in anderen zweckmässigen Feuerungseinrichtungen für festes Brennmaterial, weil der überhitzte, zur Dissociation geneigte Wasserdampf die Kohlentheilchen vollständig umhüllt. Auch die Zerstäubung von Kohlenpulver durch erhitzte Gebläseluft sichert an und für sich noch nicht vollständige Verbrennung dieses Kohlenpulvers, weil hierzu nicht nur hinreichend Luft, sondern auch immer eine gewisse Zeit erforderlich ist, und es erscheint sehr wohl möglich, dass, trotz genügender Lufteinführung in den Verbrennungsraum, grössere Mengen des Kohlenpulvers unverbrannt abgeführt werden. Es kann deshalb vorerst der neuen Kohlenstaubfeuerung noch nicht mit Sicherheit ein besonders hoher Wärme- und Temperatureffekt zuerkannt werden.

Ganz anders verhält es sich mit **gasförmigen Brennmaterialien,** weil diese an und für sich weniger Verbrennungsluft zur Entwickelung einer gleichen Wärmemenge bei vollständiger Verbrennung benöthigen (vergl. Tabelle VI, 3. Columne) und nicht einer Aggregatzustandsänderung hierbei bedürfen.

Was die Erzeugung von Heizgasen betrifft, so ist zu bemerken, dass man hierbei von den sonst für zweckmässige

Feuerung zu erfüllenden Bedingungen ganz absehen und als wesentlich im Auge behalten muss, dass ein Heizgas um so werthvoller ist, je weniger Stickstoff, Kohlensäure und Wasserdampf ihm beigemischt ist, weil diese Beimischungen nicht nur selbst nicht brennbar sind, sondern auch die Zugängigkeit des Sauerstoffs der Verbrennungsluft zu dem Brennstoff beeinträchtigen. Es ist deshalb in erster Linie nothwendig, dass man den Zutritt von Luft zu den Gaserzeugungsräumen (Gasgeneratoren) nach Möglichkeit beschränke und die Rohmaterialien, aus welchen die brennbaren Gase durch Zersetzung gewonnen werden sollen, in möglichst vorgetrocknetem Zustand in die Generatoren einfülle.

Es ist naheliegend, die Erzeugung von brennbaren Gasen aus geringwerthigem Brennmaterial in der Weise vorzunehmen, dass man diese in grosser Masse über verhältnissmässig kleiner Rostfläche aufhäuft, nachdem man zuvor auf dieser ein lebhaftes Feuer entwickelt und eine reichliche Menge glühender Kohlen erzeugt hat. Es schreitet dann auch, nachdem die Anhäufung frischen Brennmaterials über diesen glühenden Kohlen erfolgt ist, deren Verbrennung ungehindert fort. Die dabei entstehende Kohlensäure aber wird, indem sie die angehäufte nicht glühende oder nur wenig glühende Brennmaterialmasse durchstreicht, vollständig zu Kohlenoxydgas reducirt und es scheiden aus dieser Masse, zufolge ihrer Erhitzung ausser Kohlenoxydgas auch mehr oder weniger grosse Mengen von Kohlenwasserstoffen und, selbst bei guter vorheriger Austrocknung, im Allgemeinen auch noch Wasserdampf in mehr oder weniger grossem Betrage aus.

Um die Wasserdampfmenge möglichst zu beschränken, erscheint es zweckmässig, das Brennmaterial vor seiner Einfüllung in den Generator nicht nur zu trocknen, sondern förmlich zu darren, wozu die Wärme der erzeugten Generatorgase selbst nutzbar gemacht werden kann, indem man für das frische Brennmaterial Darrkammern anordnet, welche von den Generatorgasen umspült oder innerhalb geeigneter Röhrenleitung durchzogen werden. Dadurch erreicht man einen *doppelten* Vortheil, indem man nicht nur die Wasserdampf-

menge der Generatorgase vermindert, sondern auch diese selbst in nutzbringender Weise abkühlt.

Der Vortheil, welchen die Abkühlung der Generatorgase vor ihrer Verwendung gewährt, besteht darin, dass man die abgekühlten Gase schon vor ihrer Einführung in den Verbrennungsraum mit einem Theil der nöthigen Verbrennungsluft innig vermischen kann ohne ihre Entzündung befürchten zu müssen, wonach dann bei möglichst rascher Entzündung die Zugängigkeit des Sauerstoffs der Luft für die brennbaren Gase weit weniger durch die nicht brennbaren Beimischungen beeinträchtigt wird.

Des Weiteren ist zu beachten, dass bei der Erzeugung von brennbaren Gasen aus destillirbarem Brennmaterial die Temperatur der durch die Brennmaterialmasse hindurchstreichenden Gase für sich allein schon von Bedeutung ist, indem man unter sonst gleichen Umständen umsoweniger Sauerstoff zur Gaserzeugung benöthigt je mehr man die Temperatur des Brennmaterialhaufens schon unabhängig vom Sauerstoffverbrauch steigern kann. Man erkennt hiernach, dass man zur Erzeugung von brennbaren Gasen auch umsoweniger Verbrennungsluft (also auch umsoweniger unerwünschte Beigabe von Stickstoff) benöthigt, mit je höherer Temperatur man die Verbrennungsluft in den Generator einführt und dass es deshalb vortheilhaft ist, wenn man die Verbrennungsluft entweder auf Kosten der durch das Mauerwerk hindurchdringenden Wärme oder auf Kosten der bereits erzeugten Generatorgase möglichst weit vorerhitzt.

Weitere Erwägung ergiebt, dass man unter Umständen auch ganz ohne Verbrennungsluft die Vergasung von Brennmaterialien bewirken kann, wenn man durch andere geeignete Maassnahme bewirkt, dass das unmittelbar auf dem Rost liegende Brennmaterial fortwährend in so starker Glut verbleibt, dass es befähigt ist, überhitzten Wasserdampf in seine Bestandtheile Wasserstoff und Sauerstoff zu zersetzen, von welchen der letztere im Momente des Freiwerdens die glühende Kohle zu Kohlensäure verbrennt. Dies erscheint im Princip

sehr schön, aber die Praxis lehrt, dass hierbei die Zersetzung des überhitzten Wasserdampfes nur auf Kosten bedeutender Erhöhung des Kohlensäuregehaltes, entsprechender Verminderung des Kohlenoxydgasgehaltes und bedeutender Verminderung des Kohlenwasserstoffgehaltes der Generatorgase erzielt wird und dass der Wärme- und Temperatureffekt derselben eine Erhöhung gegenüber einer Generatorgaserzeugung in der vorher betrachteten Art nicht erfährt. Ausserdem kommen dazu verhältnissmässig rasches Verbrennen des Rostes und einige andere Betriebsmisslichkeiten, sowie auch nicht unwesentliche Erhöhung der Anlagekosten.

Dieselben Gründe lassen auch eine Mitbenutzung von überhitztem Wasserdampf neben der Verwendung von Verbrennungsluft als vortheilhaft nicht erscheinen. Auch der Einführung von etwas ungespanntem Dampf, welchen ein Wasserbad im Aschenfallraume liefert, kann ausser der abkühlenden Eigenschaft für den letzteren und damit auch des Rostes, ein Vortheil im Allgemeinen nicht zugeschrieben werden, wenn nicht das im Generator aufgehäufte Brennmaterial einer Lockerung bedarf oder in nichtbackendem Kohlengries besteht, dessen Durchfallen durch die Rostspalten mit Hilfe des verdampfenden Wasserbades verhindert werden soll (vergl. S. 72).

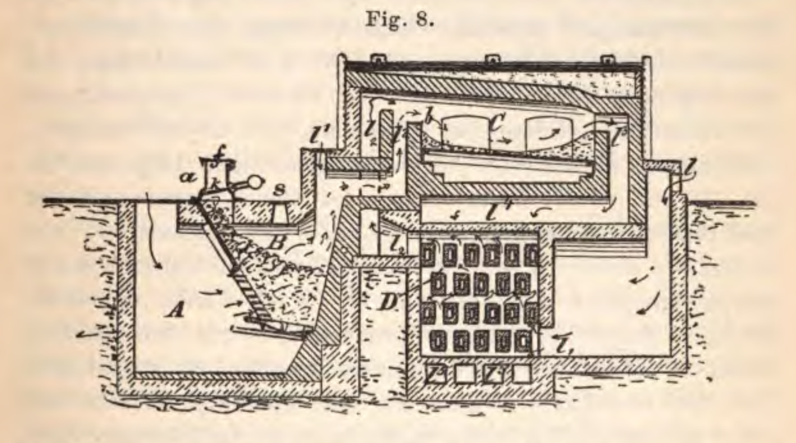
Betreffs der Verwerthung von gasförmigen Brennmaterialien wurde hinsichtlich der Generatorgase oben bereits bemerkt, dass es vortheilhaft ist, dieselben in abgekühltem Zustand mit einem Theil der nöthigen Verbrennungsluft zu mischen und sodann im Verbrennungsraume selbst möglichst rasch zu entzünden, um auf diese Weise die Zugängigkeit des Sauerstoffs der Luft zu den brennbaren Bestandtheilen der Generatorgase zu begünstigen und demgemäss den Bedarf an Luft zu beschränken. Gleichartiges gilt natürlich auch für alle anderen gasförmigen Brennmaterialien.

Ein möglichst rasches Entzünden der schon mit einem Theil der nöthigen Verbrennungsluft gemischten abgekühlten Gase bewirkt man dadurch, dass man den Restbedarf an Verbrennungsluft möglichst stark vorerhitzt und für direktes Ent-

gegenströmen der vorerhitzten Verbrennungsluft und der abgekühlten mit Luft gemischten Gase, zwecks raschen Temperaturausgleichs bei guter Vermischung, beider Theile Sorge trägt. Dabei bedient man sich zum Vorerhitzen des Restbedarfes an Verbrennungsluft mit Vortheil der in den abziehenden hochtemperirten *Verbrennungsgasen* enthaltenen Wärme, indem man die letzteren nöthigt, den grössten Theil ihrer Wärme an Steine oder Röhren aus feuerfestem Thon abzugeben, an welchen man nachher (bei geeigneter Einrichtung auch gleichzeitig) in entgegengesetzter Richtung die vorzuerhitzende Luft vorbeileitet. Auf diese Weise wird die sonst nutzlos verloren gehende Hitze der entweichenden Verbrennungsgase wieder nutzbar gemacht, „*regenerirt*", weshalb man auch von *Regenerativ-Einrichtung* spricht.

Eine Generatorgaserzeugungs- und Feuerungseinrichtung von zwar schon älterer (nicht in allen Theilen zweckmässiger) Ausführung, aber in sehr instruktiver Darstellung, veranschaulicht Fig. 8. In derselben bezeichnet *B* den Vergasungsraum, *A* dessen Aschenfall- und Luftzuströmungsraum, *a* den vermittelst einer mit Gegengewicht versehenen Klappe *k* selbst-

Fig. 8.



thätig und ausserdem vermittelst eines Deckels *f* verschliessbaren Fülltrichter, *s* die zum Entschlacken des Generators dienende und für gewöhnlich mittels Deckels luftdicht abge-

schlossene Oeffnung und l^1 die mittels Registers regulirbare Einlassöffnung für die mit den Generatorgasen vorerst zu mischende Luft bezeichnen. Die sich an den Generator anschliessende Verbrennungs- und Lufterhitzungseinrichtung besteht aus dem Verbrennungsraum C (einem Schweissofen), welchem die mit Luft gemischten Generatorgase durch den Canal l^2 und die vorerhitzte entzündende Verbrennungsluft durch den Canal l_2 aus der Heizkammer D zuströmt, während die heissen Verbrennungsgase durch die Canäle l^3 und l^4 nach den in der Heizkammer D liegenden Thonröhren strömen und deren Hohlräume in Schlangenwindung von oben nach unten durchziehend endlich in die Canäle l^5 gelangen, aus welchen sie in den Fuchs des Schornsteins entweichen. Die zu erhitzende Verbrennungsluft strömt von aussen durch die Oeffnungen l und l_1 nach der Heizkammer D und in dieser zwischen den Thonröhren in die Höhe dem Canale l_2 zu.

Wie schon angedeutet, ist diese Einrichtung mit Mängeln behaftet, und zwar gewährt die Generatoreinrichtung weder eine rationelle Abkühlung noch eine Vortrocknung des Brennmaterials oder eine Vorwärmung der zur Vergasung nöthigen Verbrennungsluft und ausserdem auch keine bequeme und für die Generatorgase schadlose Entschlackung des Vergasungsraumes durch die Oeffnung s, vielmehr wird beim Oeffnen des hier liegenden Deckels Gas aus dem Generator herausdringen und explodirend verbrennen, sowie auch Luft in den Generator eindringen. Ferner wird bei der gegenseitigen Lage der Canäle l_2 und l^2 die Vermischung der Generatorgase mit der vorerhitzten Verbrennungsluft nicht in so wirksamer Weise vollzogen, als wenn die Strömung beider in einander direkt entgegengesetzter Richtung erfolgte. Auch werden die Generatorgase durch die Trennungsmauer zwischen den Canälen l_2 und l^2 erhitzt und die doch noch heissere Luft strömt seitlich über dem Canal l^2 hinweg, ohne genöthigt zu sein sich sofort in die aus l^2 aufsteigenden Gase hineinzudrängen. Endlich ist der Ofenbau auch nicht in der für die Praxis erwünschten Weise zugängig und die grosse freie Kammer, durch welche die Aussenluft der Heizkammer D zuströmt (anschei-

nend nur dem Reparaturzweck für die letztere dienend), ist nicht hinreichend ausnutzbar.

Die gleichzeitige Bespülung der Thonröhren von zwei Gasarten, von welchen die eine sehr viel höher temperirt ist als die andere, gewährt, wegen der geringen Leitungsfähigkeit des Thons keine so weitgehende Temperaturerhöhung der weniger heissen Gasart, d. i. der Luft, als wenn man zuerst für möglichst starke Erhitzung der Thonkörper sorgt und erst dann Luft daran vorbeiströmen lässt; auch ist die gleichzeitige Berührung von zwei sehr verschieden temperirten Gasarten der Haltbarkeit der Thonkörper ungünstig. Es wird deshalb, im Falle der Benöthigung eines hohen Temperatureffektes, vorgezogen zwei Heizkammern anzulegen, deren jede mit einfachen feuerfesten Thonziegelsteinen, in Belassung von Zwischenräumen für den Gas- und Luftdurchzug, angefüllt ist, und jeweils eine Kammer längere Zeit nur von heissen Verbrennungsgasen durchströmen zu lassen, während die andere (nach vorher erfolgter Erhitzung) von der Frischluft durchströmt wird, bis die hohe Temperatur der einen Kammer eine Abkühlung der Heizgase in ihr kaum noch ermöglicht und deshalb einen Wechsel der Gas- und Luftströmung erforderlich macht.

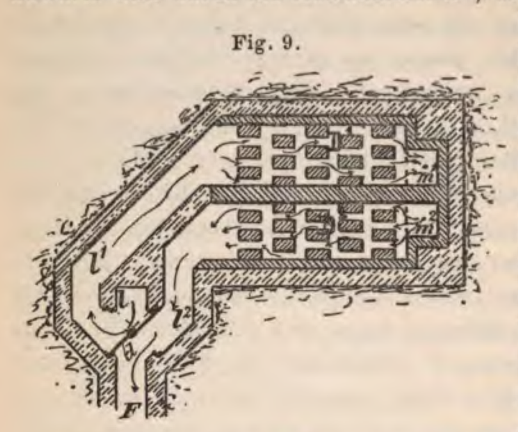
Eine bessere Ausnützung der Wärme der Verbrennungsgase, gegenüber der zuerst besprochenen Einrichtung, gewährt die Einrichtung von zwei Heizkammern in der soeben erwähnten Weise nicht, vielmehr ist hinsichtlich des Wärmeeffektes die erstbesprochene Einrichtung etwas vortheilhafter.

Ein Beispiel einer Einrichtung von zwei Heizkammern in der soeben erwähnten Weise veranschaulicht Fig. 9 (S. 88) im Grundriss. In derselben bezeichnen D^1 und D^2 die beiden Heizkammern, l den von oben herabkommenden Canal für die Zuströmung der frischen Luft, d eine um senkrechte Achse drehbare Wechselklappe, F den Fuchs für die abziehenden Verbrennungsgase, m^1, m^2 zwei von oben herabkommende und oben in den Feuerherd mündende Canäle.

Die von l einströmende Frischluft strömt durch den Canal l^1 der Heizkammer D^1 zu, durch m^1 sodann in die Höhe,

um sich über dem Feuerherd mit den Generatorgasen zu mischen, während die ausgebrannten Feuergase durch den Canal m^2 abwärts und durch die Heizkammer D^2, sowie durch den Canal l^2 hindurch dem Fuchs F zuströmen. Wird nach einiger Zeit die Wechselklappe d umgelegt, so strömt die frische Luft von l aus durch die Heizkammer D^2, während die Verbrennungsgase durch die Heizkammer D^1 dem Fuchs F zuströmen.

Fig. 9.



Es wurde oben bemerkt, dass die Verwendung überhitzten Dampfes zur Erzeugung von Generatorgasen nicht als vortheilhaft erachtet werden könne, dies gilt indessen nicht in vollem Maasse für flüssige Kohlenwasserstoffe, welche durch Erhitzung allein schon vollständig vergast werden können. Dabei ist es jedoch empfehlenswerth, den überhitzten Dampf nur als vortheilhaftes Mittel zu bedeutender Begünstigung der Vergasung des flüssigen Brennmaterials in solcher Weise zur Anwendung zu bringen, dass er die Zugängigkeit der nöthigen Verbrennungsluft zu dem von ihm zertheilten und nach der Zertheilung von ihm selbst eingehüllten Brennstoff nicht beeinträchtigt, was nur dann nicht der Fall ist, wenn dem Brennstoff vor seiner Zerstäubung und, insoweit als es möglich ist, sogar schon vor starker Erhitzung, wenigstens so viel Verbrennungsluft beigemischt ist, als zur sicheren Bildung von Kohlenoxydgas aus dem Kohlenstoff- und zur Wasserbildung aus dem Wasserstoffantheil des Brennstoffs erforderlich ist, weil sonst die Verbrennung nicht unter Verhältnissen vor sich geht, elche den höchsten Wärme- und Temperatureffekt in Aussicht en.

nwieweit es mit den bisherigen Einrichtungen gelingt,

dieser Bedingung annähernd zu genügen, werden die späteren Betrachtungen über ausgeführte und projectirte Einrichtungen ergeben.

II. Ueber Wärmeverluste durch Strahlung und Leitung und die Mittel zu ihrer Verminderung.

Es wurde bereits am Ende des zweiten Abschnitts bemerkt, dass die Wärmeabgabe der Brennmaterialien durch Strahlung in ganz gewaltigem Maasse mit der Differenz zwischen der Temperatur des Brennmaterials und der Temperatur der die Wärmestrahlen aufnehmenden Wand zunimmt, und dass sie ferner um so grösser ist, je lockerer (je weniger dicht) die Oberfläche des Brennmaterials ist.

Auch die Aufnahmefähigkeit einer Wand für Wärmestrahlen ist um so grösser, je lockerer ihre Oberfläche ist und zwar nimmt eine berusste oder mit Flugasche behaftete Fläche, gleichviel welchem Material sie sonst angehört, etwa um 45 Prozent strahlende Wärme mehr auf als eine gewöhnliche unpolirte Eisenfläche im reinen Zustand und diese nimmt um etwa 17 Prozent weniger im reinen Zustand als im verrosteten auf.

Für die Wärmeausstrahlung des Brennmaterials an eine kühle Wand ist ausser der Temperaturdifferenz und der Beschaffenheit der ausstrahlenden und der die Strahlen aufnehmenden Oberflächen auch die gegenseitige Entfernung dieser Oberflächen und die Beschaffenheit der zwischen ihnen befindlichen Feuergase maassgebend. Ganz reine Luft, deren Temperatur von der wärmeausstrahlenden Fläche ab nach der Wärmestrahlen aufnehmenden Fläche hin gleichmässig abnimmt, vermindert die Wärmestrahlung annähernd im geometrisch progressiven Verhältniss zu ihrer Schichtenentfernung von der wärme-

ausstrahlenden Fläche, so dass, wenn in 100 mm Entfernung von der letzteren 30 Prozent der strahlenden Wärme auffangbar ist, in 200 mm Entfernung von der wärmeausstrahlenden Fläche etwa noch $0{,}5 \times 0{,}5 = 0{,}25$ (d. i. 25 Prozent) und in 300 mm Entfernung noch $0{,}5 \times 0{,}5 \times 0{,}5 = 0{,}125$ (d. i. 12,5 Prozent) von der strahlenden Wärme auffangbar bleiben u. s. f.

Bezeichnet w die von einem Quadratmeter Oberfläche des Brennmaterials stündlich durch Strahlung abgegebene Wärmemenge in Calorien, k einen von der Beschaffenheit der ausstrahlenden Oberfläche und der strahlenaufnehmenden Oberfläche abhängigen Faktor, t' die Temperatur der letzteren und t die Temperatur der ersteren Oberfläche in Celsiusgraden, so ist

$$w = 124{,}72 \times k \times \left((1{,}0077)^{t} - (1{,}0077)^{t'}\right) \quad . \quad . \quad (4)$$

Von dieser strahlenden Wärmemenge nimmt jedoch die kühlere Oberfläche nur denjenigen Theil auf, welcher seitens der zwischen beiden Oberflächen befindlichen Feuergase nicht absorbirt wird.

Nimmt man an, dass diese Feuergase gleichmässig gemischt seien, aber nach der kühleren Fläche hin eine gleichmässig abnehmende Temperatur haben, so ist, wenn e die Entfernung der wärmestrahleaufnehmenden Fläche von der ausstrahlenden Fläche in **Dezimetern** gemessen und α den auf einen Dezimeter Schichtendicke der Feuergase bezogenen Durchlasscoefficienten derselben bezeichnet, die von der kühleren Fläche aufgenommene strahlende Wärme

$$w_1 = w \times (\alpha)^e \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Was nun den Werth von k betrifft, so ist zu bemerken, dass eine Körperfläche in gleicher Weise zur Wärmeausstrahlung wie zur Wärmestrahlenaufnahme befähigt ist und dass deshalb jeweils das arithmetische Mittel der Wärmestrahlungsfähigkeit der beiden in Wärmeaustausch begriffenen Flächen in Rechnung zu ziehen ist. Dies vorausgeschickt, können die folgenden von Péclet (dem eigentlichen Begründer der Wärmetechnologie) ermittelten Werthe von k zur Rechnung benutzt werden.

Tabelle X.

Für polirtes Messing	ist k = 0,258	Für Kienruss und wohl auch für Flugasche	ist k = 4,01
„ Kupfer	„ k = 0,160	„ Bausteine	„ k = 3,60
„ Zink	„ k = 0,240	„ Holz	„ k = 3,60
„ Zinn	„ k = 0,215	„ Wasser	„ k = 5,31
„ polirtes Schwarzblech	„ k = 0,450	„ Oel	„ k = 7,34
„ gewöhnl. Kessel-Eisenblech	„ k = 2,770	„ feinen Sand	„ k = 3,62
„ verrostetes Blech	„ k = 3,36	„ Gyps	„ k = 3,60
„ neues Roheisen	„ k = 3,17	„ Oelanstrich	„ k = 3,71
„ verrostetes Roheisen	„ k = 3,36	„ geringe Tapete mit Wasserfarbe	„ k = 3,60*
„ Glas	„ k = 2,91	„ Glanztapete	„ k = 0,50*
„ Sägespäne	„ k = 3,53	„ versilbertes Papier	„ k = 0,42
„ Kohlenpulver	„ k = 3,42	„ vergoldetes „	„ k = 0,23
		„ Wollenstoff	„ k = 3,68
		„ Seidenstoff	„ k = 3,71
		„ Kattun	„ k = 3,65

Die mit * markirten Angaben, welche sich auf Gegenstände beziehen, die, wie die 9 letzten Notirungen überhaupt, nicht in den Bereich der Feuerungsanlagen, sondern in den der Heizungsanlagen gehören, wurden von dem Verfasser des allgemeinen Interesses halber als wahrscheinlich zutreffende Werthe in die Tabelle eingefügt.

Für feste Brennmaterialien schwankt nach der vorstehenden Tabelle der Werth von k zwischen 3,42 und 4,01, so dass man für mittlere Rechnung k = 3,7 setzen könnte, wenn für glühende Brennmaterialien der Werth von k der gleiche wäre wie für nicht glühende, was jedoch wahrscheinlich nicht zutreffend ist, vielmehr ist anzunehmen, dass der Werth von k für glühende feste Brennmaterialien, der lockereren Oberfläche wegen, allgemein so gross sein wird wie für Kienruss.

Für gasförmige Brennstoffe sind Werthe von k bisher nicht ermittelt worden; es ist aber nach den am Ende des zweiten Abschnittes gemachten Andeutungen anzunehmen, dass für gasförmige Brennstoffe der Werth von k noch bedeutend grösser ist als für feste Brennmaterialien.

Um einen Begriff zu gewinnen wie gross die Wärmeabgabe von brennenden Brennmaterialien durch Ausstrahlung gegen eine kühlere Wand ist, sei angenommen, es befinde sich unmittelbar über dem Feuerherde eine wasserberührte Dampfkesselfläche in gutem Zustand und von Russ und Flugasche frei. Die Temperatur dieser Kesselfläche betrage 180° C. und die Temperatur der Feuergase in einem Abstand von 300 mm von dieser Kesselfläche 1200° C. Ferner sei angenommen, dass der Werth k für die Feuergase nicht grösser als **4,6** sei, so dass man als arithmetisches Mittel für sie und die Kesselfläche den Werth $k = \frac{4,6 + 2,77}{2} = 3,7$ in die Formel (4) einzusetzen habe; endlich sei vorläufig angenommen, der auf den Dezimeter Schichtendicke der Feuergase bezogene Durchlasscoefficient α (für Wärmestrahlen) sei, wie oben für Luft angenommen, 0,5, so dass also nach Formel (5), weil die Entfernung zwischen der Kesselfläche und der wärmeausstrahlenden Fläche zu 300 mm oder 3 Dezimeter, angenommen wurde,

$$w_1 = (0,5)^3 \times w = 0,125 \times w,$$

während man nach Formel (4) findet:

$$w = 124,72 \times 3,7 \times \left((1,0077)^{1200} - (1,0077)^{180}\right) = 4583220 \text{ Cal.}$$

so dass also stündlich

$$w_1 = 0,125 \times 4583220 = \mathbf{572902,5} \text{ Calorien}$$

der Temperaturentwickelung durch direkte Ausstrahlung des Feuerherdes gegen den darüber liegenden Kessel entzogen werden, wenn die Rostfläche 1 qm gross ist. Um diese 572902,5 Calorien zu *erzeugen*, würde aber *vollkommene* Verbrennung von mindestens 95 Kgr. bester Steinkohlen erforderlich sein.

Aus diesem Rechnungsergebniss lässt sich schon ohne weitere Erwägung der Schluss ziehen, *dass es überhaupt nicht möglich ist in einem Abstand von 300 mm von einer Dampfkesselfläche eine Verbrennungs-emperatur von 1200° C. zu erzielen, ohne dass Dampfkesselfläche hier selbst eine höhere*

Temperatur als 180° annimmt und dass sich deshalb auf der Innenfläche des Kesselblechs an solcher Stelle überhaupt, niemals Wasser sondern fortwährend Dampf befindet.

Das Rechnungsergebniss wird noch ungünstiger, wenn man die Verhältnisse ins Auge fasst wie sie sich in Wirklichkeit ergeben; denn dass die Annahme einer gleichmässigen Abnahme der Temperatur der Feuergase von der Stelle höchster Temperatur bis zu der um 300 mm davon entfernten Fläche geringster Temperatur der Wirklichkeit nicht ganz entspricht, bedarf kaum der Erwähnung; die Feuergase werden vielmehr, zufolge ihrer Bewegung, in unmittelbarer Nähe der kühleren Kesselfläche eine von der Temperatur derselben noch wesentlich verschiedene höhere Temperatur haben und deshalb an diese Kesselfläche eine sehr viel stärkere strahlende Wärme abgeben, als sie der Rechnung zu Grunde gelegt wurde, welcher Thatsache gegenüber die Annahme eines vielleicht zu grossen Werthes für den Durchlasscoefficienten α nicht ins Gewicht fällt.

Genauere Untersuchungen über die Wärmestrahlen-Absorbirung von Gasen sind leider bisher nicht angestellt worden; man ist deshalb auf die Erfahrung und rohe Untersuchungen angewiesen.

Setzt man voraus, dass die Temperatur der kühleren Fläche 200° und die höchste Temperatur der Feuergase in 300 mm Abstand von dieser Fläche 1000° C. betrage, so ergiebt die Rechnung bei sonst gleichen Annahmen eine stündliche Wärmeabgabe durch Strahlung:

$w_1 = 0{,}125 \times 124{,}72 \times 3{,}7 \times (2143 - 4{,}637) = 123346$ Calorien entsprechend vollkommener Verbrennung von etwa 20 Kgr. bester Steinkohle auf einem qm Rostfläche, welches Verhältniss schon eher der Erfahrung entspricht.

Wenn die Entfernung der kühleren Kesselfläche von der heissesten Stelle der Feuergase doppelt so gross ist als sie in den beiden vorstehenden Beispielen angenommen wurde, so entspricht die Annahme von 1200° der Feuergase und 180° der Kesselfläche einer Wärmeabgabe an die letztere durch Strahlung im Betrage von

$$w_1 = (0{,}5)^6 \times 4583220 = 71603 \text{ Calorien}$$

wofür stündlich nur eine vollkommene Verbrennung von etwa 12 Kgr. bester Steinkohlen auf einem qm Rost erforderlich sein würde.

Wenn der Verbrennungsraum ringsum von Eisen umschlossen ist, welches seine Wärme unmittelbar ausserhalb des Feuerraums gutleitend abgiebt und daher fortwährend beträchtlich kühler bleibt als die Feuergase, so ist natürlich die Wärmeausstrahlung der letzteren an den verschiedenen Stellen der Wand des Verbrennungsraumes sehr ungleich, weil die der heissesten Feuergaszone zunächst liegenden Eisenflächentheile bedeutend mehr Wärmestrahlen aufnehmen, als die von den heissesten Gasen entfernter liegenden, und es werden deshalb auch diejenigen Theile der Feuergase der heissesten Zone, welche der Wandung zunächst sind, eine nur viel geringere Temperatur erlangen können als diejenigen Theile der heissesten Feuergaszone, welche von der Eisenwandung weiter entfernt sind, und zwar werden die ersteren Feuergastheile weit unter derjenigen Temperatur verbleiben, welche zu ihrer vollkommenen Verbrennung erforderlich ist. Die Folge einer ringsum viel Wärme durchlassenden Wandung des Verbrennungsraumes ist daher unbedingt eine unvollkommene Verbrennung eines Theiles des Brennmaterials wenn man nicht dafür Sorge trägt, dass die zuerst der abkühlenden Fläche zunächst befindlichen Feuergase nach geschützterer Stelle hingedrängt und hier mit heisser Verbrennungsluft vermengt werden, während die vorher an geschützterer Stelle befindlich gewesenen und in hoher Temperatur zur vollkommenen Verbrennung gelangten Feuergase dafür der abkühlenden Fläche zunächst gebracht werden.

Setzt man voraus, dass diese Bedingung für vollkommene Verbrennung vollkommen erfüllbar sei, so übersieht man, dass dann die Feuergase nicht an einer einzigen Stelle, sondern eine mehr oder weniger lange Strecke weit (im Inneren des Feuergaszuges) höchste Temperatur behalten müssen, wenn vollkommene Verbrennung aller brennbaren Gase erzielt werden

soll und dass zu diesem Zweck auch den der geschütztereu Stelle innerhalb jener Strecke zugedrängten Feuergasen fortwährend genügend erhitzte Verbrennungsluft dargeboten werden muss.

Man erkennt, dass ein derartiger Vorgang im Verbrennungsraum annähernd nur erzielbar ist, wenn an der Wandung ringsum (eine mehr oder weniger lange Strecke weit) einwärtsragende Vorsprünge angeordnet sind, welche die der Wandung zunächst befindlichen Feuergase zwingen, sich der Mitte des Feuerzuges zuzudrängen und wenn ausserdem an solchen Vorsprüngen entweder jeweils wieder etwas vorerhitzte Verbrennungsluft einströmt oder überschüssig von den Feuergasen mitgenommene Luft zur Verwendung gelangen kann.

Anscheinend kann man dieser Bedingung bei Dampfkesseln mit Innenfeuerung in gewissem Grade genügen, wenn man die Feuerrohre aus einzelnen verschieden weiten Ringstücken herstellt; die Uebergangsstellen bewirken dann jeweils eine Wirbelbewegung und demzufolge gutes Durcheinandermischen der Feuergase, allein es bieten diese Wirbelbewegungen noch keineswegs einige Sicherheit dafür, dass die heissesten ausgebrannten Gase im weiteren Verlaufe der Vorwärtsbewegung den noch nicht verbrannten Gasen, welche sich vorher der Wandung zunächst befanden, die am besten geschützte Mittellage im Rohr einräumen und dafür ihrerseits die Wandung bestreichen.

Vielleicht würde man diesen Erfolg besser erreichen, wenn man in die jetzt vielfach in Gebrauch befindlichen Wellblech-Feuerrohre an mehreren hintereinander liegenden Stellen schmale Ringe aus Chamottesteinen derart einfügen würde, dass sich ein allmählicherer Uebergang aus dem weiteren Querschnitt in den engeren Querschnitt der Ringöffnung und umgekehrt ergäbe.

Ein annähernd gleichartiger Erfolg mag übrigens auch erzielt werden, wenn man den Feuerzug in der Querrichtung mit Widerständen durchzieht, was beispielsweise bei Anwendung von Galloway-Röhren geschieht.

Alle diese Mittel können aber eine Vollkommenheit der Verbrennung noch nicht sichern, weil die Wärmestrahlung auch eine fortwährende Abnahme der Temperatur der in der Mittellinie des Feuerzuges befindlichen Feuergase bedingt und sehr bald auch hier nicht mehr die zur Sicherung der vollständigen Verbrennung nöthige Temperaturhöhe gewährt. Die Wärmestrahlung macht es daher nothwendig, dass man entweder dahin strebe, die vollständige Verbrennung auf möglichst kurzer Strecke (wenn thunlich in nächster Nähe der Feuerquelle) zu erzielen oder aber, dass man auf Verminderung der Aufnahmefähigkeit der Wandung für Wärmestrahlen bedacht sei.

Wenn der Verbrennungsraum ringsum, anstatt einer die Wärme gut ableitenden, eine schlechtleitende Umfassungswand besitzt, welche sehr wenig Wärme durchlässt, so wird diese Wand bald eine hohe Temperatur annehmen, welche sie für Wärmestrahlen des Feuers weniger empfänglich macht. Die Feuergase erleiden demzufolge weniger Wärmeentziehung während ihrer Entwickelung und es ist mithin auch leichter sie auf diejenige Temperatur zu bringen, welche zur vollkommenen Verbrennung aller ihrer brennbaren Bestandtheile erforderlich ist.

Man ist indessen leicht geneigt den Vortheil einer schlechtleitenden Wandung zu überschätzen und Ausführungen gut zu heissen, welche nur einen Theil des Vortheils, den eine schlechtleitende Umwandung gewähren könnte, zur Ausnützung zu bringen. Wie hoch der Vortheil einer solchen Umwandung an und für sich anzuschlagen ist, mag ein Rechnungsbeispiel lehren.

Angenommen, die Temperatur einer in 300 mm Abstand über der heissesten Zone der Feuergase liegenden Chamottemauerwand betrage in einem Falle t' = 1000° C., in einem zweiten Falle t' = 1100° C. und in einem dritten Falle t' = 1150° C., während in der heissesten Feuergaszone in allen ei Fällen die zur Sicherung vollkommener Verbrennung ge Temperatur 1200° C. herrsche. Ferner sei für Cha-einmauerwerk der Werth von k zu 3,6 und für die

Feuergase wieder der Werth k zu 4,6 angenommen, sodass man als Mittelwerth in die Rechnung einzusetzen hat

$k = \frac{4,6 + 3,6}{2} = 4,1$. Unter diesen Voraussetzungen ergiebt die Formel (5)

$$w_1 = (\alpha)^{e} . w = (0,5)^{3} \times 124,72 \times 4,1 \times \left((1,0077)^{1200} - (1,0077)^{t'}\right)$$

für $t' = 1000^0$ C.

$$w_1 = 498121 \text{ Calorien,}$$

für $t' = 1100^0$ C.

$$w_1 = 340133 \text{ Calorien}$$

und für $t' = 1150^0$ C.

$$w_1 = 202304 \text{ Calorien.}$$

Demnach hätte man, im Falle einer Temperatur der Wandung von 1000° C., auf einem Rost von 1 qm Fläche etwa 80 Kgr. bester Steinkohlen vollkommen zu verbrennen, um allein die von dem Chamottemauerwerk stündlich durchgelassene strahlende Wärme zu erzeugen, während man im Falle einer Wandtemperatur von 1100° C. etwa 52 und im Falle einer Wandtemperatur von 1150° C. etwa 30 Kgr. zum Ersatze der durch Strahlung an die Wand abgegebenen und von dieser durchgelassenen Wärme zu verbrennen hätte.

Wenn jenseits der Mauerung keine Ausnützung der durch sie hindurchgehenden Wärme erfolgt, so sind die hier ermittelten Mengen der strahlenden Wärme unmittelbar Wärmeverluste.

Wo es sich vermeiden lässt die Stelle höchster Temperatur der Feuergase einer nach aussen hin freiliegenden Mauerwand so nahe zu bringen, wie es in dem Rechnungsbeispiel angenommen wurde, wird man dies natürlich in erster Linie zu thun haben, um die Wärmeverluste zu vermindern, andernfalls muss man dahin trachten, die Wärmedurchlässigkeit der Mauern so weit als irgend möglich zu vermindern.

Erscheint die in Rücksicht auf die Anlagekosten zulässige Dicke massiver Mauern nicht hinreichend, um die Wärmedurchlässigkeit auf ein erwünschtes Maass zu beschränken, so versieht man bekanntlich die Mauern mit luftge-

füllten Hohlräumen, welche oben und unten abgeschlossen und am besten auch nicht mit Hohlräumen weniger erhitzter Mauern in Zusammenhang zu bringen sind. Wenn es sich ohne Schwierigkeit thun lässt, so ist es zu empfehlen, die Umfassungsmauern des Feuerraumes mit doppelten luftgefüllten Hohlräumen zu versehen, die von einander vollständig getrennt sind.

Für Stirnmauern, deren Hohlräume durch Feuerthüren und besondere Lufteinlassöffnungen auf sehr geringe Flächenausdehnung beschränkt werden, würde oft anstatt grosser Dicke ein Mauerungsmaterial von besonders geringer Wärmeleitungsfähigkeit erwünscht sein, welches genügender Festigkeit nicht ermangelt. Ein solches Material hat man neuerdings in den künstlichen Magnesitsteinen gewonnen, welche mit Vortheil als Ersatz der Chamottesteine zu verwenden sind, indem sie gleiche Widerstandsfähigkeit gegen Hitze mit sehr viel geringerer Wärmeleitungsfähigkeit verbinden und ausserdem auch durch Schlacken, welche auf Chamottesteine und auf Dynassteine einen zerstörenden Einfluss ausüben, nicht angegriffen werden, aus welch' letzterem Grunde sie besonders für Verhüttungsöfen und Schmelzöfen empfehlenswerth sind.

Natürlich können auch bei Verwendung solcher Magnesitsteine noch Lufträume in der Mauerung belassen werden, um die Wärmedurchlässigkeit noch weiter zu vermindern.

Die Unterbringung von Luftzügen in den Umfassungsmauern des Feuerraumes für die Vorwärmung von Verbrennungsluft ist nicht zu empfehlen, weil dabei die Wärme, welche die kalte Luft den Mauern entzieht, den Feuergasen selbst an einer Stelle entzogen wird, um sie an anderer Stelle an diese Feuergase wieder abzugeben, worin nicht ein Vortheil, sondern ein Nachtheil zu erblicken ist, weil eine sichere Vollständigkeit der Verbrennung gerade bedingt, dass die Temperatur der Feuergase im Entwickelungsverlaufe selbst möglichst begünstigt werde und es nur als Nothbehelf betrachtet werden kann, wenn man die den Feuergasen von Natur fehlende Temperatur-e durch Zuführung vorerhitzter sekundärer Verbrennungs-

luft zu begünstigen sucht. Dass dieses Mittel allgemein empfehlenswerth ist, ändert nichts an der Thatsache, dass es ein Nothbehelf bleibt.

Wenn man die Verbrennungsluft durch sonst verloren gehende Wärme vorerhitzt, so ist dies vortheilhaft, wenn man aber zum Zweck dieser Vorerhitzung die Wärmeausstrahlung im Feuerraume begünstigt, so ist dies nachtheilig. Wo die in den Mauern des Aschenfallraumes vorhandene Wärme nicht anderweitig ausgenutzt wird, da empfiehlt es sich diese Wärme zur Vorerhitzung der Verbrennungsluft zu verwenden, weil man dann einen doppelten Vortheil erreicht, nämlich ausser dem Nutzbarmachen dieser Wärme auch ein Abkühlen des Aschenfallraumes bewirkt und dadurch zur längeren Erhaltung des Rostes etwas beiträgt.

Die hinsichtlich der Wärmestrahlung zwischen den Feuergasen (bezw. dem Brennmaterial) und der Wandung des Feuerraumes stattfindenden Beziehungen, bestehen natürlich auch zwischen verschieden heissen Wandungen der von den Feuergasen durchströmten Räume, indem die heisseren Wandungen derselben fortwährend durch die Feuergase hindurch an die kühleren Wandungen Wärme ausstrahlen. Ist hierbei die kühlere Wand eine durch die Feuergase zu erhitzende, so wird deren Wirkung durch die wärmestrahlende heissere Wandung unterstützt und man muss deren günstige Ausstrahlung zu fördern suchen durch möglichste Verminderung ihrer etwaigen nutzlosen Wärmeableitung nach aussen, und ist die kühlere Wand befähigt, die ihr zustrahlende Wärme nutzlos aus dem Heizraum abzuleiten, so muss die Wärmestrahlung an dieselbe vermindert werden durch Verkleidung oder Hintermauerung des Körpers der kühleren Wand (d. i. durch Beschränkung der Wärmeabgabe derselben nach aussen, wobei ihre Temperatur erhöht wird).

Auch in diesen Fällen sind eingeschlossene Luftschichten als schlechte Wärmeleiter in Gebrauch. Auch hier kann im Allgemeinen die Einfügung von Canälen in die Körper der Wandungen für den Zweck der Vorerhitzung von Verbrennungs-

luft nicht als vortheilhaft bezeichnet werden, weil in solchem Falle nur nutzbare Wärme an einer Stelle entzogen würde, um sie an anderer Stelle wieder nutzbar abzugeben. Immerhin kommen Fälle vor, in welchen ein kleiner Wärmeverlust an nutzbarer Stelle der Feuerzüge zu Gunsten der Vorerhitzung von sekundärer Verbrennungsluft nicht unbedingt getadelt werden kann; in der Regel liegt aber eine Nothwendigkeit zu solchem Verfahren nicht vor, weil man — wenn nicht immer, so doch meistens — über Wärmeansammlungen an Orten verfügt, an welchen sie im Allgemeinen als verlorene, wenn nicht gar als nachtheilig wirkende zu erachten sind.

In den vorstehenden Betrachtungen war nun zwar vorzugsweise von der Wärmestrahlung die Rede, doch wurde dabei auch wiederholt der **Wärmeleitung** gedacht, ohne darauf näher einzugehen.

Man hat zweierlei Arten von Wärmeleitung zu unterscheiden, nämlich die **Wärmeübertragung von einem Körper auf einen anderen** durch Berührung und die **Fortleitung** der Wärme in einem und demselben Körper.

Die Wärmeübertragung von einem Körper auf einen anderen durch Berührung, hängt nur von der Grösse und Form der sich berührenden Oberflächen ab.

Peclet, dem wir, wie schon erwähnt wurde, das Fundament einer stichhaltigen Wärmetechnologie verdanken, hat zur Ermittelung des Einflusses der Form von sich berührenden Körpern Untersuchungen angestellt und ist zu dem Resultat gelangt, dass man ganz allgemein die in einer Stunde durch Berührung abgeleitete Wärmemenge ausdrücken kann durch

$$w' = 0{,}552 \times k' \times (t - t')^{1{,}233} \quad . \; . \; . \; . \quad (6)$$

wenn t die Temperatur des heissesten der beiden sich berühren- ·n Körper und die t' die des kühleren derselben in Celsius- ·n bezeichnet und wenn k' ein Faktor ist, der von der ırung befindlichen Form und von deren Dimensionen

Ist der eine der beiden sich berührenden Körper gasförmig und der andere fest, so ist, wenn die berührte Oberfläche des letzteren Kugelform hat, deren Halbmesser r Meter beträgt,

$$k' = 1{,}778 + \frac{0{,}13}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (a)$$

Ist die berührte Oberfläche des festen Körpers ein Cylinder von kreisförmigem Querschnitt, dessen Halbmesser r Meter beträgt, so ist bei wagerechter Lage dieses Cylinders

$$k' = 2{,}058 + \frac{0{,}0382}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (b)$$

steht aber der Cylinder senkrecht und hat eine Höhe (Länge) h_1, so ist

$$k' = \left(0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{r_1}}\right) \times \left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{h_1}}\right) \quad . \quad (c)$$

Endlich ist für ebene senkrechtstehende luftberührte Flächen von der Höhe h_2 Meter ganz allgemein

$$k' = 1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h_2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (d)$$

Hiernach ist man in der Lage, die Wärmeaufnahme und die Abkühlung eines kugelförmigen und eines cylindrischen Körpers von heissen Gasen und bezw. durch kühlere Luft zu berechnen, sowie auch die gleiche Ermittelung für ebene Flächen in senkrechter, in wagerechter und in schräger Lage durchzuführen.

Für senkrechte Flächen genügt der Ausdruck (d) direkt; ein Vergleich dieses Ausdrucks mit dem Ausdruck (c) ergiebt die Uebereinstimmung beider Ausdrücke, wenn man den Cylinderdurchmesser r_1 als unendlich gross annimmt, weil in diesem Falle der Bruch $\frac{0{,}0345}{\sqrt{r_1}} = 0$ wird. Danach übersieht man, dass man auch aus dem Ausdruck (b) den für wagerechte ebene Flächen giltigen erhält, wenn man den Halbmesser des wagerecht liegenden Cylinders als unendlich gross in die Rechnung einführt. Man hat demnach für wagerechtliegende ebene Flächen den Werth

$$k' = 2{,}058 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (e)$$

so dass für diesen Fall

$$w' = 1{,}136 \times (t - t')^{1{,}233}$$

Ferner ist für geneigte ebene Flächen:

$$k' = \sqrt{(2{,}058)^2 + \left(1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h_2}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{7{,}347 + \frac{2{,}438}{\sqrt{h_2}} + \frac{0{,}4045}{h_2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (f)$$

wenn man unter h_2 die senkrechte Erhebung (Projektion) der geneigten ebenen Fläche versteht.

Um zu übersehen, welchen Einfluss die Wärmeableitung durch Berührung auf die Vollkommenheit der Verbrennung ausübt, mag wieder die Innenfeuerung eines Flammrohrdampfkessels in's Auge gefasst werden. Da nicht der ganze Bogen-Umfang des Flammrohrquerschnitts für die über die Feuerbrücke strömenden Feuergase, sondern nur ein Stück desselben in Betracht kommt und ein Blick auf die verschiedenen Ausdrücke für k' belehrt, in welcher Weise der Werth des zweiten Gliedes rechts vom Gleichheitszeichen in diesen Ausdrücken
aehmender Höhe der Fläche zunimmt, so mag bei einer
he von 0,3 m oberhalb der Feuerbrücke für ein Flamm-
ssen Halbmesser $r_1 = 0{,}4$ m beträgt, wohl

$$= 2{,}058 + \frac{0{,}0382}{\sqrt{r_1 \times \frac{0{,}3}{2 r_1}}} = 2{,}058 + \frac{0{,}0382}{\sqrt{0{,}15}} = 2{,}158$$

nd zutreffender Werth von k' in Rechnung zu

h würde man haben

$$,552 \times 2{,}158 \times (t - t')^{1{,}233} = 1{,}19 \times (t - t')^{1{,}233}$$

man nun an die Flamme habe eine Temperatur
und bestreiche unmittelbar eine auf 180° C. er-
iche über der Feuerbrücke, so erhält man als
rmeabgabe an 1 qm dieser Kesselfläche:

$$19 \times (1020)^{1{,}233} = 6097{,}45 \text{ Calorien.}$$

Vergleicht man dieses Rechnungsergebniss mit der unter gleichen Temperaturannahmen gefundenen Wärmeabgabe durch Strahlung ($w_1 = 572902,5$), so erkennt man, *dass unter solchen Verhältnissen die durch Berührung abgegebene Wärme annähernd den 94. Theil der durch Strahlung abgegebenen beträgt.*

Nimmt man auch noch den der Wirklichkeit besser entsprechenden Fall einer Feuergastemperatur von 1000° C. und einer Kesselblechtemperatur von 200° C. an, so ergiebt die Rechnung

$$w' = 1,19 \times (800)^{1,233} = 4519 \text{ Calorien}$$

gegenüber einer Wärmeabgabe durch Strahlung $w_1 = 123346$, *so dass also unter solchen Verhältnissen die durch Berührung abgegebene Wärme nur etwa den 27. Theil der durch Strahlung abgegebenen beträgt.*

Vergleicht man das Ergebniss der ersten Rechnung ($w' = 6097,45$) mit dem Falle, in welchem die 180° heisse Kesselfläche von den 1200° heissen Feuergasen in einer Entfernung von 600 mm bestrahlt wird ($w_1 = 71613$), so sieht man, *dass selbst diese Wärmeabgabe durch Strahlung die durch Berührung abgegebene nahezu um das 12-fache übertrifft.* Uebrigens kann man bei 600 mm Entfernung der heissesten Zone der Feuergase von einer Fläche, nicht mehr von einer Berührung der letzteren seitens der heissesten Feuergase sprechen; deshalb kann man im Hinblick auf die vorstehenden Ermittelungen allgemein sagen:

Die Vollkommenheit der Verbrennung wird durch die Berührung eines wärmeableitenden Körpers seitens der Flammen sehr viel weniger beeinträchtigt, als durch die Wärmestrahlung an denselben.

Will man die Wärmeabgabe einer Anhäufung erhitzter fester Körperstücke an ein durch ihre Anhäufung hindurchstreichendes Gas rechnerisch ermitteln, so muss man die Form

der einzelnen Stücke mit Kugeln oder Cylindern in Vergleich bringen, um einen annähernd passenden Werth für den Faktor k' in die Rechnung einführen zu können; man hat in solchem Falle diejenige Kugel- oder Cylinderfläche zu ermitteln, welche der etwas abgerundet gedachten Oberfläche der in Untersuchung stehenden Stücke am nächsten kommt. Nähere Betrachtungen über derartige Fälle sind hier entbehrlich.

Hinsichtlich der zweiten Art der Wärmeleitung, der **Fortleitung der Wärme durch einen und denselben Körper hindurch,** ist zu bemerken, dass dieselbe nur von der Beschaffenheit des Körpermaterials abhängt, der Temperaturdifferenz zwischen seinen einzelnen Stellen (und natürlich auch der Zeit) direkt und der gegenseitigen Entfernung dieser Stellen umgekehrt proportional ist.

Die Wärmemenge in Calorien, welche in einer Stunde von einer Fläche eines homogenen Körpers zu einer dazu parallelen anderen Fläche desselben übergeht, ist demnach ausdrückbar durch

$$w'' = k'' \times f' \times \frac{t'-t''}{d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

wenn k'' einen von der Materialbeschaffenheit des Körpers abhängigen Faktor, f' die Flächengrösse einer jeden der beiden Flächen (oder auch das arithmetische Mittel der Grössen dieser beiden Flächen, wenn dieselben ungleich gross sind) in Quadratmetern, d die gegenseitige Entfernung dieser parallelen Flächen in Metern, t' die Temperatur der heisseren und t'' die Temperatur der kühleren Fläche des Körpers in Celsiusgraden bezeichnen.

Bezüglich des Werthes von k'' ist zu bemerken, dass derselbe bei festen Körpern im Allgemeinen um so grösser ist, je dehnbarer, oder um so kleiner ist, je spröder oder lockerer das leitende Material ist. Uebrigens ist derselbe für ein und dasselbe Material nicht immer gleich, sondern ändert sich mit dessen Temperatur und zwar nimmt er bei festen Materialien mit wachsender Temperatur etwas ab und bei flüssigen und

gasförmigen Materialien mit wachsender Temperatur zu. In welchem Betrage diese Schwankungen des Werthes von k'' erfolgen, ist bisher noch nicht festgestellt worden.

Die zuverlässigsten Mittelwerthe von k'' scheinen noch immer die von Péclet angegebenen zu sein, welche in der folgenden Tabelle XI angeführt sind.

Tabelle XI.

Material	Mittelwerth von k''	Material	Mittelwerth von k''
Blei	14	Cokspulver	0,160
Eisen	28	Eisenfeilspäne	0,158
Gold	77	**Magnesitpulver	<0,08
Kupfer	69	Holzkohlenpulv.	0,07—0,081
Platin	75	Holzasche	0,06
Silber	74	Quarzsand	0,27
Zink	28	Baumwolle	0,04
Zinn	22	Leinwand	0,043—0,052
Baustein (grobkörniger Lias-)	1,30	Papier	0,034—0,043
Glas	0,75—0,88	Wolle	0,044
Gutta-Percha	0,173	*Aethylengas	0,020
Gyps	0,331—0,520	*Kohlenoxydgas	0,018
Holz: Fichten-, senkrecht z. Faser	0,093	*Kohlensäuregas	0,020
„ „ parallel zur Faser	0,170	*Luft (atmosph.)	0,020
„ Nussbaum-, senkr. z. Faser	0,103	*Methan	0,020
„ „ parall. „ „	0,174	*Stickstoff	0,019
Kalkstein, feinkörniger	1,70—2,08	*Wasserstoffgas	0,124
Kautschuk	0,170		
Kork	0,143		
**Magnesitsteine, künstliche	<0,5		
Marmor, grauer feinkörnig	3,48		
„ weisser grobkörnig	2,78		
Retortenkohle	4,96		
*Wasser	0,143		

Die in dieser Tabelle mit * und mit ** bezeichneten Angaben sind nicht von Péclet ermittelt, sondern die ersteren Mittelwerthe aus Untersuchungen verschiedener Forscher und die letzteren, Annahmen nach allgemeinen Beobachtungen.

Da auf Grund praktischer Erfahrung anzunehmen ist, dass die Temperaturen ausgebrannter Feuergase der meisten Feuerungsanlagen in um 100 mm von einander entfernten Schichten kaum jemals mehr als 100° C. Temperaturverschie-

denheit haben, so ergiebt sich nach den Angaben der Tabelle XI, dass die Fortleitung der Wärme durch stagnirende Feuergasmassen hindurch höchstens zu

$$w'' = 0{,}02 \times \frac{100}{0{,}1} = 20 \text{ Calorien}$$

pro Stunde und Quadratmeter Schichtenquerschnitt der Feuergase zu veranschlagen ist, welcher Betrag der Wärmestrahlung gegenüber gar nicht in Betracht kommt.

Uebrigens ist auch die Untersuchung der Wärmebewegung im Innern einer Feuerungsanlage kaum von Interesse, da sie keinen Anhalt zur Beurtheilung einer Ausführung bietet; dagegen ist es von Interesse zu wissen, welcher Wärmebetrag an einzelnen Stellen der nutzbaren Verwerthung dargeboten wird und welcher Wärmebetrag an anderen Stellen nutzlos nach aussen abgeleitet wird.

Um die an solchen Stellen erfolgende Weiterleitung von Wärme zu bestimmen, müsste man (bei Benutzung der Formel 7) die daselbst vorherrschenden Temperaturen t' kennen, die sich jedoch nur in den seltensten Fällen durch Messung bestimmen lassen. Beachtet man, dass die weiterzuleitende Wärmemenge w'' der Summe der durch Strahlung und Berührung auf die (zur Weiterleitung bestimmte) Fläche übertragenen Wärmemengen w_1 und w' gleich ist, so ergiebt sich die Möglichkeit aus der Beziehung

$$k'' \times f' \times \frac{t'-t''}{d} = \left[\overset{e}{\alpha} \times 124{,}72 \times k \times \left((1{,}0077)^{t} - (1{,}0077)^{t'}\right) + 0{,}552 \times k' \times (t-t')^{1{,}233}\right] \times f'$$

einen Ausdruck für t' zu ermitteln, in welchem nur bekannte Grössen vorkommen und durch Einsetzen eines solchen Ausdrucks in die Formel (7) würde es dann auch möglich sein w'' selbst oder, was dasselbe ist, die Summe von $w_1 + w'$ zu berechnen.

Um diese höchst complicirte Rechnung zu vermeiden, kann man den vorstehenden Ausdruck ersetzen durch

$$\frac{t'-t''}{d} = m \times \overset{e}{\alpha} \times 124{,}72 \times k \times \left((1{,}0077)^{t} - (1{,}0077)^{t'}\right) \quad (8)$$

in welcher Formel m das Verhältniss der ganzen Wärmeabgabe (an die zu untersuchende Stelle) zu der durch Strahlung (an die zu untersuchende Stelle) abgegebenen Wärmemenge bezeichnet. Dieses Verhältniss ist — weil die Wärmeabgabe durch Berührung in sehr weiten Feuerzügen (also wenn der Werth von e*) gross ist) nur bis zu 10 Prozent der durch Strahlung erfolgenden Wärmeabgabe gleichkommt, in engen Feuerräumen dagegen (für welche e klein ist) bis auf ein Prozent der letzteren Wärmeabgabe herabsinkt — zu wählen zwischen

$$m = 1{,}01 \text{ bis } 1{,}10.$$

Der Ausdruck (8) lässt für die wichtigsten Fälle der Praxis noch weitere Vereinfachung zu.

Zunächst erhält man durch rechnerische Umformung:

$$k'' \times \frac{t'}{d} + m \times \alpha^{e} \times 124{,}72 \times k \times (1{,}0077)^{t'} =$$

$$k'' \times \frac{t''}{d} + m \times \alpha^{e} \times 124{,}72 \times k \times (1{,}0077)^{t} \qquad (8a)$$

Führt man für zahlreiche Annahmen von t', k'' und d Versuchsrechnungen durch, so findet man, dass für die Untersuchung der Durchlässigkeit gutleitender Wände von wenigen Millimetern Dicke (bis zu $d = 0{,}01^{m}$) der Werth des zweiten Summanden links von Gleichheitszeichen des Ausdrucks 8a gegenüber dem Werthe des ersten Summanden gar nicht in Betracht kommt und dass man deshalb beispielsweise *für Kesselblech und für eiserne Oefen, welche weder mit schlechten Wärmeleitern ausgefüttert noch umhüllt sind*, die einfache Beziehung

$$w'' = \left(k'' \times \frac{t' - t''}{d}\right) = m \times \alpha^{e} \times 124{,}72 \times k \times (1{,}0077)^{t} \qquad (9)$$

zur Berechnung der Wärmedurchlässigkeit eines Quadratmeters der Ofenfläche erhält, wenn t die Temperatur der für diese Fläche in Betracht kommenden Feuergase, α den Durchlasscoefficienten der letzteren für Wärmestrahlen (ungefähr 0,5), e

---

*) Vergl. S. 90.

die Entfernung der t Grad heissen Feuergase von der betrachteten Oberfläche und m den obenerwähnten Faktor bezeichnet.

Der Ausdruck (9) ist insofern eigenthümlich, als in demselben der Wärmeleitungscoefficient k'' gar nicht mehr vorkommt, sondern nur der von der Beschaffenheit der inneren Fläche eines Ofens abhängige Faktor k, welcher für verrostete und mit Flugasche und Russ bedeckte Eisenflächen grösser ist als für reine Metallflächen; natürlich darf die Bedeckung mit Flugasche und Russ nicht so stark sein, dass solche vermöge ihrer geringen Leitungsfähigkeit als bedeutende Wärmeschutzmasse zur Geltung kommt, weil in solchem Falle die Formel (9) nicht mehr giltig sein würde.

Wenn die auf ihre Durchlässigkeit zu untersuchende Wand aus schlecht wärmeleitendem Material besteht, so kommt bei sehr hohen Temperaturen und sehr grosser Wanddicke der Werth des ersten Summanden auf der linken Seite des Ausdrucks (8a) dem zweiten Summanden gegenüber nicht in Betracht. Da man es aber nicht immer mit sehr dicken Wänden und sehr hoher Innentemperatur derselben zu thun hat, so muss man für allgemeine Berechnung der Wärmedurchlässigkeit einer Wandung aus schlechtleitendem Material zu einem allgemein giltigen Annäherungsverfahren seine Zuflucht nehmen. Ein solches ergiebt sich aber, wenn man vorerst in dem ersten Summanden des Ausdrucks (8a) die Temperatur t' der Innenwand durch die Temperatur der dieselbe berührenden Feuergase ersetzt und demnach einen Annäherungswerth für t' aus der Beziehung

$$k'' \frac{t}{d} + m \,.\, \alpha^{e} \,.\, 124{,}72 \,.\, k \,.\, (1{,}0077)^{t'} =$$

$$k'' \,.\, \frac{t''}{d} + m \,.\, \alpha^{e} \,.\, 124{,}72 \,.\, k \,.\, (1{,}0077)^{t}$$

ermittelt, welche durch rechnerische Umformung ergiebt:

$$= \frac{\lg \left[(1{,}0077)^{t} - \frac{k'' \, (t - t'')}{124{,}72 \,.\, m \,.\, \alpha^{e} \,.\, k \,.\, d}\right]}{\lg \, (1{,}0077)} \quad . \; . \quad (10)$$

Setzt man das arithmetische Mittel des hiernach berechneten Werthes von t' und der Temperatur t anstatt dieser letzteren in den zweiten Summanden des Zählers (in den Bruch $\frac{k'' (t-t'')}{124,72 \,.\, m \,.\, \alpha^{e} \,.\, k}$) ein, so ergiebt die abermalige Durchführung der Rechnung nach Formel (10) einen genaueren Werth von t', und setzt man auch das arithmetische Mittel von diesem und dem zuletzt in Rechnung eingeführten Annäherungswerthe in den zweiten Summanden des Zählers ein, so ergiebt eine nochmalige Rechnung nach Formel (10) einen noch genaueren Werth für t' u. s. f.

Indessen wird man sich in vielen Fällen der Praxis mit zweimaliger Berechnung nach Formel (8) begnügen können. Den sich ergebenden Werth von t' hat man sodann in die Formel (7) $w'' = \frac{k'' \,.\, f' \,.\, (t'-t'')}{d}$ einzusetzen, um die Wärmedurchlässigkeit der in Betracht gezogenen Wand zu ermitteln.

Ist der zweite Summand in dem Zähler des Ausdrucks (10) gegenüber dem Werthe des ersten Summanden sehr klein (was, wie schon erwähnt, dann der Fall ist, wenn t und d gross und k'' klein ist), so dass man ihn vernachlässigen kann, so erhält man als Annäherungswerth von t'

$$t' = \frac{\lg (1,0077)^{t}}{\lg (1,0077)} = \frac{t \,.\, \lg (1,0077)}{\lg (1,0077)} = t.$$

Da nun in Wirklichkeit der zweite Summand im Zähler des Ausdruckes (10) anstatt

$$\frac{k'' (t'-t'')}{124,72 \times m \times \alpha^{e} \times k \times d}$$

gesetzt ist, so kann auch der Fall t' = t in Wirklichkeit genau nur dann eintreten, wenn der hier angegebene Bruch 0 ist. Dies ist aber nur dann möglich, wenn entweder die Dicke der Wandung (d) unendlich gross ist oder wenn t' = t'', was hinsichtlich der Aussenwände einer Feuerungsanlage nicht vorkommt. Indessen ist doch bei der gebräuchlichen Ummauerung die Verschiedenheit der Temperatur der Feuergase und der inneren Mauerwandung in der Regel nicht sehr gross,

gramm schon auf einer Weglänge von 0,6 m (welche bei 500 mm lichter Weite eines Kamins von rundem Querschnitt etwa einem Quadratmeter Innenwand entspricht) einer Temperaturabnahme von etwa 4° C. entspricht.

Die Mittel zur Verhütung unerwünschter Wärmeableitung durch Mauern hindurch wurden schon eingehend erörtert und es wurde auch dargelegt, dass es zur Sicherung vollkommener Verbrennung der Brennmaterialien nothwendig ist, vorzeitiger Abkühlung der Feuergase durch Wärmeausstrahlung an kühlere Wände, die der Zone höchster Temperatur nahe liegen, thunlichst vorzubeugen. Dass dies durch möglichste Vermeidung von kühlen Wänden im Entwickelungsraume geschehen kann, ergiebt sich von selbst; es frägt sich aber, ob es unbedingt nöthig ist den Raum, in welchem die Verbrennung vor sich geht, allseitig mit möglichst wenig Wärme durchlassenden Wänden zu umschliessen?

Diese Frage lässt sich nun auf Grund der über Wärmestrahlung und Wärmeleitung angestellten allgemeinen Betrachtungen beantworten.

Zunächst unterliegt es keinem Zweifel, dass nutzlose Värmedurchlässigkeit unter allen Umständen thunlichst zu ·schränken ist und dass ausserdem auch die Entstehung der ·r Sicherung vollständiger Verbrennung nöthigen Temperatur ıt durch vorzeitige Wärmeableitung aus dem Verbrennungs- n gehindert werden darf, wenn man nicht, aus irgend hen Gründen, auf Vollständigkeit der Verbrennung ver- en will.

Verbraucht man stündlich zur Beschaffung einer er- erlichen benutzbaren Wärmemenge bei vollständiger Ver- ung des Brennmaterials n Kilogramm dieses letzteren erhält man dabei pro Kilogramm Brennmaterial o Kgr. ase, deren mittlere Wärmecapacität*) c ist, so ist die erzeugte Wärmemenge ausdrückbar durch:

---

gl. S. 8.

$$n \times M = n \times o \times c \times t + M_1,$$

wenn M den vollständiger Verbrennung eines Kilogramms des Brennmaterials entsprechenden absoluten Heizwerth (vergl. I. Abschn. S. 3), t die höchste entwickelte Temperatur und M_1 die vor und während des Eintritts dieser Temperatur aus dem Verbrennungsraum entweichende Wärmemenge bezeichnet.

Aus dieser Beziehung erhält man durch rechnerische Umformung

$$t = \frac{n \times M - M_1}{n \times o \times c} \text{ oder auch } n = \frac{M_1}{M - o \times c \times t} \quad (11)$$

Da man den absoluten Heizwerth des verwendeten Brennmaterials (nach I im 1. Abschn. S. 3) und die stündliche Gewichtsmenge der Feuergase (nach VI im 1. Abschn.) berechnen, die letztere zudem auch durch Messung bestimmen kann und da endlich auch M_1 auf Grund der allgemeinen über Wärmestrahlung und Wärmeleitung angestellten Betrachtungen für eine angenommene Temperatur t berechenbar ist, so unterliegt es keiner besonderen Schwierigkeit, durch Annäherungsrechnung zu ermitteln, ob es möglich ist in einer zu prüfenden Feuerungsanlage die zur Erzielung vollkommener Verbrennung nöthige Temperatur zu erzeugen oder nicht.

Wie die Rechnung in praktischer Weise durchzuführen ist, lässt sich am besten an einem Beispiel zeigen.

Als Brennmaterial werde Koks verwendet, welcher 85 Gewichtsprozente Kohlenstoff, 10 Gewichtsprozente hygroskopisches Wasser und 5 Gewichtsprozente Aschebestandtheile besitzt und daher einen absoluten Heizwerth von 6868 Calorien hat. Zu seiner vollständigen Verbrennung verbraucht dieser Koks theoretisch (nach Tabelle VI auf S. 12) $0{,}00157 \times 6868 = 10{,}79$ Kgr. oder unter günstigen Verhältnissen in Wirklichkeit*) $1{,}2 \times 10{,}79 = 13$ Kgr. Verbrennungsluft. Die Verbrennungsgase bestehen in diesem Falle pro Kilogramm Koks in 3,12 Kgr. Kohlensäure, 0,1 Kgr. Wasserdampf und $(13 - [3{,}12 - 0{,}85]) = 10{,}73$ Kgr. Luft und Stickstoff. Die

*) Vergl. S. 13.

Verbrennungsgase brauchen demnach für die Erhöhung ihrer Temperatur um einen Celsiusgrad pro Kilogramm Koks
$3{,}12 \times 0{,}217 + 10{,}73 \times 0{,}24 + 0{,}1 \times 0{,}27$ *) $= 3{,}28$ Calorien.

Sonach erhält man nach Formel (11)

$$t = \frac{n \times 6868 - M_1}{n \times 3{,}28} \text{ oder auch } n = \frac{M_1}{6868 - 3{,}28 \times t}.$$

Es sei nun als Beispiel angenommen der Koks verbrenne innerhalb eines aus Wasserröhren gebildeten Schachtes (System Donneley) und er sei auch sonst von wassergefüllten Dampferzeugern aus Eisenblech derart umgeben, dass den in höchster Temperatur befindlichen Feuergasen überall in Abständen von 300 mm Eisenflächen gegenüberliegen, welche Wänden von nicht mehr als 10 mm Dicke angehören, so findet man als Wärmeableitung dieser Eisenwände pro Quadratmeter derselben, nach Formel (9), in welcher $m = 1{,}05$, $k = 3{,}7$ **) und $\dot{\alpha} = 0{,}5^3 = 0{,}125$ zu setzen wäre:

$$\dot{w}'' = 1{,}05 \times 0{,}125 \times 124{,}7 \times 3{,}7 \times (1{,}0077)^t = M_1$$

für $t = 1000^0$

$$M_1 = 129650 \text{ Calorien.}$$

Demnach muss man in einer solchen Feuerungsanlage, sofern den heissesten Feuergasen in dem angegebenen Abstand gerade 1 Quadratmeter der kühleren Eisenflächen gegenüberliegt, stündlich

$$n = \frac{129650}{6868 - 3280} = 36 \text{ Kgr.}$$

Koks verbrennen, um eine Temperatur von 1000^0 erzeugen zu können, welche nur unter allergünstigsten Verhältnissen und bei sorgfältigster Beachtung aller vortheilhaften Maassnahmen gerade hinreichen kann, vollkommene Verbrennung zu erzielen.

Werden stündlich statt 36 Kgr. nur 26 Kgr. Koks verbrannt, so ist auch die Wärmeableitung geringer; würde man annehmen, sie sei der Brennmaterialmenge proportional, so

---

*) Vergl. Berechnungsart auf S. 17.

**) Vgl. S. 92.

würde die Beziehung der entwickelbaren Temperatur (t_1) zu der vorher betrachteten Temperatur (t) ausdrückbar sein durch

$$\frac{(1{,}0077)^{t_1}}{(1{,}0077)^{t}} = \frac{26}{36}$$

woraus folgen würde:

$$t_1 = t \times \frac{\lg 26}{\lg 36} = 0{,}909 \times t.$$

Da indessen die angenommene Proportionalität thatsächlich nicht besteht, vielmehr anzunehmen ist, dass die entwickelbare Temperatur höher ist als sie solcher Proportionalität entsprechen würde, so empfiehlt es sich zunächst das arithmetische Mittel aus t_1 und t in Rechnung zu setzen, um die erreichbare Temperatur mit einiger Annäherung zu bestimmen. Dieses arithmetische Mittel ist im vorliegenden Falle $\frac{1000 + 909}{2} = 954{,}5^0$ oder abgerundet 960^0. Setzt man diese Temperatur zur Ermittelung der Wärmeableitung in die Formel (9) ein, so erhält man

$$w'' = 1{,}05 \times 0{,}125 \times 124{,}7 \times 3{,}7 \times (1{,}0077)^{960} = 95453 \; (= M_1)$$

und wird dieser Werth für M_1 in den Ausdruck (11) eingesetzt, so ergiebt die Rechnung als Annäherungswerth der erreichbaren Temperatur

$$t = \frac{26 \times 6868 - 95453}{26 \times 3{,}28} = 975^0.$$

Führt man nochmalige Versuchsrechnung durch, um grössere Uebereinstimmung zwischen der bei Ermittelung von w'' (oder M_1) *angenommenen* Temperatur und der sich schliesslich nach der Formel (11) ergebenden Temperatur zu erzielen, so findet man, dass der Grenzwerth der wirklich erreichbaren Temperatur zwischen 961^0 und 962^0 und zwar näher an ersterer als an letzterer liegt, so dass also **t = 961** als zutreffend angenommen werden kann.

Das hier durchgeführte Beispiel lässt erkennen, *dass die Erzeugung einer bestimmten Temperatur nicht blos von der Beschaffenheit der Feuerungsanlage, sondern auch von der in bestimmter Zeit ver-*

brannten Brennmaterialmenge abhängt und dass jede Feuerungsanlage zur Erzeugung einer die vollständige Verbrennung sichernden Temperatur die Verbrennung einer bestimmten Minimalmenge an Brennmaterial bedingt, bei Verfeuerung einer Brennmaterialmenge, die kleiner ist als diese Minimalmenge, vollständige Verbrennung aber unter allen Umständen ausschliesst.

Ausserdem ergiebt die angestellte Untersuchung, dass zur Erzielung vollständiger Verbrennung eine um so grössere Minimalmenge Brennmaterials innerhalb bestimmter Zeit (stündlich) verbrannt werden muss, je mehr Wärme die den Verbrennungsraum umschliessenden Wände ableiten.

Demnach kann für gleichmässigen Feuerungsbetrieb, bei welchem stündlich eine grosse Brennmaterialmenge verbrannt werden muss, die Einrichtung einer Feuerungsanlage in solcher Weise, wie sie dem vorstehend durchgeführten Beispiel zu Grunde gelegt wurde, unter Umständen als ökonomisch bezeichnet werden. Wenn dagegen der Feuerungsbetrieb bald einen grossen und bald einen kleinen Brennmaterialverbrauch erfordert oder der stündliche Brennmaterialverbrauch weniger als 36 Kilogramm beträgt, so kann eine Feuerungsanlage von der als Beispiel betrachteten Art nicht als ökonomisch erachtet werden.

Bei Verfeuerung geringwerthigeren Brennmaterials und bei Verfeuerung eines Brennmaterials, welches eine grössere Feuergasmenge pro Kgr. ergiebt oder benöthigt als der betrachtete Koks, bedingt die Wärmeökonomie eine noch grössere stündliche Verbrennungsmenge als bei Verfeuerung dieses Koks, sofern nicht gleichzeitig für geringere Wärmeableitung der Umwandung des Verbrennungsraumes Sorge getragen wird. Auch muss diese Wärmeableitung um so mehr herabzumindern gesucht werden, je kleiner der geringste stündliche Brennmaterialconsum ist.

Es ergiebt sich aus dieser Betrachtung, dass die Wärmeökonomie bei kleinen Feuerungsanlagen, welche

ebenso eingerichtet sind wie grosse, immer geringer ist als bei den letzteren, so lange die Umwandung des Verbrennungsraumes einen beachtenswerthen Wärmebetrag ableitet.

Bei Feuerräumen, deren Wandung aus Billigkeitsgründen oder der Dimensionen wegen, in Eisen hergestellt werden, ist die Anwendung hinreichend dicker Mauern mit Einfügung von allseitig geschlossenen Lufträumen zum Zweck möglichster Verminderung der Wärmedurchlässigkeit der Umwandung ausgeschlossen. Um sich dennoch die Vortheile der Mauern wenigstens theilweise zu sichern, hat man, theils zur Verbesserung der Wärmeökonomie, theils aus besonderen Gründen, welche allzuheisse Eisenflächen als unzulässig erscheinen lassen (beispielsweise bei Zentralheizungsöfen aus Rücksicht auf die Reinheit der an ihnen sich erhitzenden Luft), den Verbrennungsraum mit Formsteinen aus feuerfestem Thon ausgefüttert.

Dieses Mittel gewährt, wenn es in bestimmter Ausführungsart zur Anwendung gebracht wird, einen sehr guten Erfolg; derselbe wird jedoch wesentlich herabgemindert, wenn bei der Ausführungsart die nachstehend zu erörternden Maassnahmen nicht eingehalten werden; ja es treten dann unter Umständen sogar Wirkungen ein, welche den Werth der Ausfütterung sehr zweifelhaft erscheinen lassen.

In erster Linie hat man zu beachten, dass der Wärmeaustausch zwischen zwei aneinander anliegenden festen Körpern um so rascher vor sich geht, an je zahlreicheren Stellen ihre gegenseitige Berührung erfolgt und dass insbesondere die in gegenseitiger Berührung befindlichen Flächentheile in der Regel binnen einiger Zeit gleiche oder doch sehr wenig von einander verschiedene Temperaturen annehmen. Da aber die Futterstücke immer nur eine mässige Dicke erhalten können, welche die Wärmeleitung nur wenig verzögert, so erkennt man, dass auch der Temperaturunterschied zwischen der Innenwand der Futterstücke und der Eisenwandung nicht sehr gross sein kann,

wenn die ersteren mit grosser Flächenausdehnung an der letzteren anliegen und dass demnach in solchem Falle die Verminderung der Wärmeableitung vermöge der Futterstücke sehr mässig ist und dass diese im Falle starker Erhitzung auch das Erglühen der Eisenwandung nicht nur nicht verhindern, sondern sogar, nachdem es einmal eingetreten ist, länger erhalten als es im Allgemeinen ohne ihr Vorhandensein bestehen würde, weil sie als schlechte Wärmeleiter die Wärme länger halten. Aus diesem Grunde wird in der Ausfütterung eiserner Oefen mitunter die Ursache eines rascheren Verbrennens derselben erblickt.

Solche Erwägung lehrt, dass es zweckmässig ist die Futterstücke nur mit möglichst kleiner Fläche an der Eisenwandung anliegen zu lassen. Man hat deshalb die feuerfesten Thon-Formsteine (Chamottesteine) entweder mit schmalen Leisten (vergl. z. B. *a*, *b*, *c* in Fig. 10) oder noch besser mit mehreren Ansätzen von sehr geringem Umfang (vergl. z. B. *e*, *e* in Fig. 11) zu versehen, vermittels

Fig. 10.

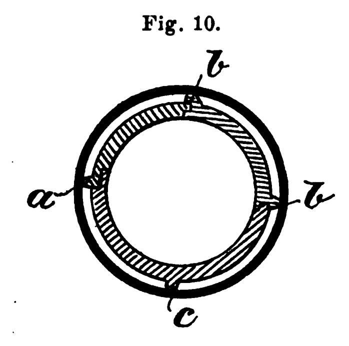
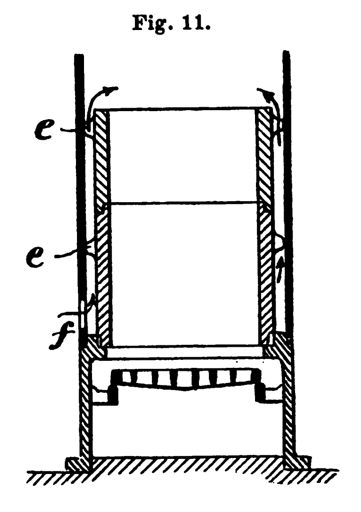


Fig. 11.



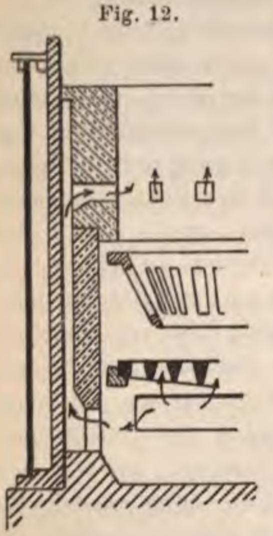
deren ihre Hauptmasse von der Eisenwandung entfernt gehalten wird, so dass zwischen ihr und der letzteren möglichst grosse Lufträume freibleiben. Dabei kann man diese entweder, wie in Figur 11 auf der rechten Seite angedeutet, gegen die Aussenluft vollständig abschliessen, so dass die Luft in ihnen stagnirt oder auch unten offen

lassen, um eine fortwährend aufsteigende Luftbewegung in ihnen zu veranlassen.

Lässt man im letzteren Falle unmittelbar kühle Luft, wie in Fig. 11 auf der linken Seite bei *f* angedeutet, in die besagten Lufträume einströmen, so bewirkt man zwar einen sehr guten Schutz der Eisenwandung gegen starke Erhitzung, gleichzeitig aber auch eine starke Abkühlung der Futterstücke und eine etwa oberhalb derselben erfolgende Vereinigung der auf Kosten dieser Abkühlung vorgeheizten Luft mit den Feuergasen kann als vortheilhaft nicht erachtet werden, weil auch die Vermischung unverbrannter Feuergase mit secundär herbeiströmender Verbrennungsluft an möglichst gegen Abkühlung geschützter Stelle (also innerhalb des von den Futterstücken umschlossenen Raumes) erfolgen soll und weil ausserdem dabei auch die Vorerhitzung der secundären Luft auf Kosten einer Verzögerung der vollständigen Verbrennung bewirkt wird, was in Hinsicht auf die Vergrösserung der den unverbrannten Gasen dargebotenen abkühlenden Flächen immer einem Verlust gleich zu achten ist. Will man in vortheilhafter Weise durch die zwischen den Futterstücken und der Eisenwandung verbleibenden Hohlräume Luft in ununterbrochenem Strom hindurchstreichen lassen, so muss man dieselbe, bevor sie mit den den Feuerraum umschliessenden Futtersteinen in Berührung gelangt, auf Kosten von sonst verlorener Wärme möglichst weit vorerhitzen und innerhalb des ausgefütterten Raumes selbst in die Feuergase einströmen lassen. Dabei kann man sich zur Vorerhitzung der Luft mit besonderem Vortheil der im Aschenfallraume enthaltenen Wärme bedienen und zu diesem Zweck das Chamottefutter bis zum Boden des Aschenfallraumes herabführen und hier in einer von der Asche selbst nicht beschütteten, aber möglichst tiefen Lage einen Theil der in den Aschenfallraum eingetretenen Luft durch mehrere Oeffnungen in den Zwischenraum zwischen dem Chamottefutter und der Eisenwandung einströmen lassen. Zugleich empfiehlt es sich, dann auch die letztere selbst noch in geringem Abstand mit einem allseitig geschlossenen Mantel in der ganzen Höhenausdehnung des

Verbrennungsraumes und bis herab zum Fusse des Aschenfallraumes zu umgeben. Man gelangt hierbei zu einer Einrichtung von der Art, wie in Fig. 12 dargestellt ist.

Fig. 12.



Anstatt des Chamottefutters kann man sich mit Vortheil auch eines Magnesitfutters oder, bei kleinen Abmessungen, eines aus einem Stück bestehenden Einsatzes aus Magnesitsteinmasse bedienen. Die Anwendung von Einsätzen aus Gusseisen vermag zwar, bei geeigneter Einrichtung im Sinne der vorstehenden Erläuterungen, ebenfalls einen guten Erfolg zu sichern; man muss aber dabei den Missstand in den Kauf nehmen, dass die eisernen Einsätze sehr bald durchbrennen.

Es bleibt nun noch übrig, einige Worte über die sogenannten Kachelöfen hier einzufügen.

Die glasirten Thonkacheln besitzen wesentlich geringere Wärmeleitungsfähigkeit als Eisen, auch etwas geringere Wärmeleitungsfähigkeit als gewöhnliche Mauersteine (Chamottesteine wahrscheinlich mit einbegriffen) und ausserdem auch geringere Wärmeausstrahlfähigkeit als Steine und Eisen. Sie können deshalb sehr wohl als geringe Wärmeableiter in Betracht gezogen werden; dabei darf man indessen nicht ausser Acht lassen, dass sie in der Regel sehr dünnwandig hergestellt werden und nur sehr geringe Widerstandsfähigkeit gegen Hitze besitzen. Aus diesen Gründen aber müssen sie, als Umwandungsmaterial für die Verbrennungsräume der Kachelöfen, mit den Eisenwandungen auf völlig gleiche Stufe ge-ellt und in gleicher Art wie diese durch Ausfütterung gegen sich entwickelnden Feuergase verkleidet werden, wobei ns, ihrer geringeren Wärmeableitungsfähigkeit halber, wandige resp. hohlwandige Ausführung als weniger

belangreich ausser Erwägung bleiben kann, obwohl sie immerhin als vortheilhaft zu erachten und ihrer einfachen Herstellbarkeit wegen empfehlenswerth genannt werden kann.

Eine einfache Ausmauerung von Kachelöfen mit unmittelbarem Anschluss an die Kacheln selbst zwecks Bildung des Verbrennungsraumes (wie sie zumeist gebräuchlich ist) gefährdet bei starker Feuerung, welche eine die vollständige Verbrennung in gewissem Grade begünstigende Temperaturhöhe erzeugt, die Kachelwandung, giebt demzufolge leicht zur Undichtheit und nicht selten zum Zerspringen einzelner Kacheln Veranlassung. Nicht nur die gebräuchliche Art der Ausmauerung, sondern auch die Lage der Schüröffnung und des Feuerungsmaterials leistet diesem Vorkommniss wesentlich Vorschub, da hierbei ganz besonders die Stirnwand der Oefen zu starker Erhitzung ausgesetzt wird, während eine Isolirung des Verbrennungsraumes in gleicher Art wie sie für eiserne Oefen näher erläutert wurde, nicht nur solche Vorkommnisse ausschliesst, sondern auch vollkommenere Verbrennung des Brennmaterials gewährt.

Näher hierauf einzugehen, ist an vorliegender Stelle, als zu specialisirend, nicht zweckdienlich und im Hinblick auf die vorhergehenden Ausführungen auch kaum erforderlich. Nur hinsichtlich der Verwendung von Hohlkacheln, wie sie mehrfach zur Ausführung gelangt sind, mag noch bemerkt werden, dass es unzweckmässig ist durch die den Verbrennungsraum umschliessenden Kacheln während der Verbrennungsdauer kühle Luft hindurch zu leiten.

III. Ueber die Herbeischaffung der nöthigen Verbrennungsluft.

Die natürliche Luftbewegung ist eine Folge des Bestrebens ungleich schwerer Luftmassen sich in gegenseitigen Gleichgewichtszustand zu setzen. Die sich erhitzende Luft dehnt sich aus, eine bestimmte Gewichtsmenge derselben nimmt also einen grösseren Raum als vorher ein und eine bestimmte

Raummenge derselben wiegt demzufolge weniger als vorher und wird durch eine gleiche Raummenge weniger erhitzter und deshalb schwererer Luft verdrängt. Giebt man daher kühler Luft hinreichend Gelegenheit einer aufgehäuften Brennmaterialmasse zuzuströmen, sich daran zu erhitzen und an anderer Stelle abzuströmen, so hängt die in bestimmter Zeit mit dem Brennmaterial in Berührung kommende Luftmenge lediglich von der durch Erhitzung bewirkten Luftausdehnung und von dem Widerstand ab, welchen die verdrängende Luft zu überwinden hat.

Hinreichende Gelegenheit den in geschlossenen Räumen brennenden Brennmaterialmassen zuzuströmen, giebt man der atmosphärischen Luft dadurch, dass man in den Umschlusswandungen dieser Räume hinreichend grosse Oeffnungen vorsieht. Der Widerstand, den die der Brennmaterialmasse zuströmende Luft zu überwinden hat, hängt von der Form, Weite und Länge des Raumes ab, durch welchen hindurch die zu verdrängende Luft verdrängt werden soll.

Strömt die Luft durch den ganzen Brennmaterialhaufen hindurch, so setzt sich der zu durchströmende Raum zusammen aus

1) den Luftwegen im Brennmaterialhaufen,
2) den verschiedenen Feuerzügen und den Rauchabzugcanälen.

Dementsprechend wäre in erster Linie der Widerstand zu untersuchen, welcher sich der Luftbewegung im Brennmaterialhaufen entgegensetzt.

Die zur Bestimmung desselben nöthigen Untersuchungen sind noch nicht als abgeschlossen zu betrachten; indessen kann doch angenommen werden, dass durchschnittlich, bei loser ufeinanderhäufung kleiner annähernd gleichgrosser Brennaterialstücke, die freie Gesammtfläche, welche in wagerechter ge der Brennmaterialstücke zwischen diesen für den urchzug der Luft und der Feuergase frei bleibt, ein ftel der wagerechten Querschnittsfläche des es der Brennmaterialaufhäufung beträgt und schen den einzelnen wagerechten Lagen

der Brennmaterialmasse durchschnittlich nur **ein Fünftel** der wagerechten Raumquerschnittsfläche von den **Berührungsflächen** der Brennmaterialstücke eingenommen wird und somit vier Fünftel dieser Querschnittsfläche für die Ausdehnung der Verbrennungsluft und der Feuergase in dem Zwischenraum zwischen je zwei Brennmaterial-Schichten übrig bleibt. Werden diese Annahmen als zutreffend vorausgesetzt, so lässt sich der Widerstand, welcher sich der Luftbewegung im Brennmaterialhaufen entgegensetzt, annähernd bestimmen. Derselbe setzt sich zusammen aus

a) dem Reibungswiderstand,
b) dem Widerstand infolge der Umbiegungen der Luftwege und
c) dem durch Veränderung der Weite der Luftwege entstehenden Widerstand.

Bezeichnet v die Geschwindigkeit (in Metern pro Sekunde) mit welcher Luft und Feuergase durch die Brennmaterialmasse hindurch strömen, γ das mittlere specifische Gewicht (das Gewicht eines Kubikmeters des Luft- und Feuergasgemisches in der Brennmaterialmasse) und g die Beschleunigung der Schwerkraft (d. i. der Weg von 9,81 m, den ein Körper, welcher freifällt, in der ersten Sekunde seines Fallens zurücklegt und um welchen sein Weg innerhalb jeder folgenden Sekunde zunimmt), so ist der Druck, welcher zur Ueberwindung des Reibungswiderstandes in der Brennmaterialmasse nöthig ist (bezogen auf eine Luftsäule von 1 qm Querschnitt) nach Péclet ausdrückbar durch:

$$p_r = \frac{0{,}006 \times \text{Umfang des Luftwegquerschnittes} \times \text{Länge des Luftweges}}{\text{Querschnittsfläche des Luftweges}} \times \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma$$

Das Produkt „Umfang des Querschnitts $\times$ Länge des Luftweges“, welches der Zähler dieses Ausdrucks enthält, ist nichts anderes, als die von dem Luft- und Feuergasgemisch innerhalb der Brennmaterialmasse bestrichene Gesammtoberfläche, welche vorerst mit O bezeichnet sein mag. Der Nenner des vorstehenden Ausdrucks aber ist das Mittel aus der freien Durchzugsfläche einer Brennmaterialschichte (d. i.

0,2 F, wenn F die wagerechte Ausdehnung der Brennmaterialschichte in qm ist) und der grössten Ausdehnungsfläche des Gasgemisches beim Durchstreichen des Zwischenraumes zwischen zwei Brennmaterialschichten (d. i. $F - 0{,}2\,F = 0{,}8\,F$); man kann daher annäherungsweise den Nenner des Ausdrucks ersetzen durch

$$\frac{0{,}2\,F + 0{,}8\,F}{2} = 0{,}5\,F$$

so dass der ganze Ausdruck zunächst die Form annimmt:

$$p_r = \frac{0{,}006 \times O}{0{,}5\,F} \times \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma$$

Was nun die Luftberührungsfläche O der Brennmaterialmasse betrifft, so lässt sich dieselbe für jedes Brennmaterial annäherungsweise ermitteln, wenn man regelmässige Flächen, wie Kugelflächen, Cylinderflächen und Prismenflächen, welche den Brennmaterialstücken annähernd gleichkommen, in Rechnung setzt und sodann von der Gesammtsumme aller Brennmaterialstückflächen für jede Schichte die Berührungsfläche zweier Schichten, d. i. 0,2 F, abzieht. Wie viele Stücke in einer Schichte liegen, lässt sich eventuell zählen und die Anzahl der Schichten findet man, wenn man die prismatische Haufenhöhe durch die mittlere Dicke der Brennmaterialstücke dividirt. Liegen n_0 Stücke in einer Schichte, ist die Gesammt-Füllhöhe des Brennmaterials H Meter und die Schichtendicke d Meter, so ist, wenn o das arithmetische Mittel der Flächen einer grösseren Anzahl von Brennmaterialstücken ist, der zur Ueberwindung des Reibungswiderstandes nothwendige Ueberdruck p_r auch ausdrückbar durch

$$p_r = \frac{0{,}006 \times \left(n_0 \times \frac{H}{d} \times o - 0{,}2 \times F \times \frac{H}{d}\right)}{0{,}5\,F} \times \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma$$

$$= 0{,}012 \times \frac{H}{d}\left(o \times \frac{n_0}{d} - 0{,}2\right) \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma \quad . \quad (12)$$

Für Brennmaterial, dessen Stücke als kugelförmig in ..ung gesetzt werden können, ist nach Schinz $n = \frac{F}{d^2}$,

und da in diesem Falle o als Kugeloberfläche ausdrückbar ist durch $\pi . d^2$, so findet man

$$p_r = 0{,}012 \times \frac{H}{d} \times (\pi - 0{,}2) \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma$$

und da $\pi = 3{,}142$, so ergiebt sich

$$p_r = 0{,}0353 \times \frac{H}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma \quad . \quad . \quad . \quad (12\,a)$$

Bei Ermittelung des infolge der Umbiegungen der Luftwege entstehenden Widerstandes (des Umbiegungswiderstandes) hat man zu beachten, dass die Flammen, welche durch die Brennmaterialmasse hindurchgehen, sich innerhalb derselben einen Weg bahnen, welcher möglichst wenig gezackt ist, doch gelingt ihnen dies nur mit fortschreitender Verbrennung allmählich mehr und mehr, während sie sich beim Durchstreichen der weniger weit verbrannten Brennmaterialschichten in einem Winkelbetrag um die Brennmaterialstücke herumschlingen müssen, der sich mehr und mehr einem rechten Winkel nähert.

Nimmt man hiernach für die am weitesten verbrannten Brennmaterialschichten zweimalige Umbiegung im Betrage von je 20^0 für das aus einer Schichte in die nächste strömende Luft- und Feuergasgemisch und für die am wenigsten weit verbrannten Brennmaterialschichten zweimalige Umbiegung im Betrage von je 90^0 an und setzt voraus, dass der Uebergang von 20^0 zu 90^0 sich ganz allmählich vollziehe, so hat man als Mittelmaass für jeden Schichtenwechsel des Luft- und Feuergasgemisches zweimalige Umbiegung um je $\frac{90 + 20}{2} = 55^0$ in Rechnung zu setzen.

Dementsprechend würde man nach Péclet für jeden Schichtenwechsel im Durchschnitt einen Ueberdruck von

$$2 \times \frac{55^0}{180^0} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma = 0{,}611 \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma$$

benöthigen, um den aus den Umbiegungen entspringenden Widerstand zu überwinden.

Da sich aber die Luft auch um die erste Schichte ganz

herumbiegen muss, so ist thatsächlich nicht die Anzahl der Schichtenwechsel, sondern die Anzahl der Schichten selbst als maassgebend in Rechnung zu setzen und, da diese Anzahl gleich $\frac{H}{d}$ ist, so ist der zur Ueberwindung des Umbiegungswiderstandes nöthige Ueberdruck ausdrückbar durch:

$$p_w = 0{,}611 \times \frac{H}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Was ferner den durch Veränderung der Weite der Luftwege entstehenden Widerstand betrifft, so ist zu bemerken, dass die Feuergase beim Uebergang aus den 0,8 F weiten Zwischenfugen der Schichtenlagen jeweils wieder comprimirt werden müssen, damit sie nachher durch die engere lichte Weite von 0,2 F weiter befördert werden können. Da hierbei der Uebergang aus der grösseren Weite in die kleinere überall ziemlich plötzlich vor sich geht, so ergiebt sich — zunächst ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeitsänderungen — ein Widerstand, der sich auf Grund von Untersuchungsresultaten Péclet's für $\frac{H}{d}$ Uebergänge ausdrücken lässt durch:

$$p_u' = 0{,}35 \times \frac{H}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma$$

Dazu kommt nun noch der für fortwährende Wiedererzeugung der Geschwindigkeit v (nach erfolgter Expandirung in den weiten Zwischenfugen der Schichtenlagen) sich ergebende Ueberdruckaufwand, welcher in folgender Weise zu [illegible] ist.

[illegible] die Geschwindigkeit einer Luftgewichtsmenge L sich [illegible], wenn man dieselbe zunächst durch ihr specifisches [illegible] dividirt um das Luftvolumen zu erhalten und sodann [illegible] durch seinen Bewegungsquerschnitt dividirt, so ist die [illegible]windigkeit in dem Zwischenraum zwischen den Schichten- [illegible] (dessen Weite 0,8 F ist) ausdrückbar durch

$$v_0 = \frac{L}{0{,}8 \times F \times \gamma_0}$$

wenn γ_0 das specifische Gewicht der Luft in dem Augenblick ist, in welchem sich dieselbe über die Weite 0,8 F ausgedehnt hat.

Andererseits ist die Geschwindigkeit v, mit welcher die Luft durch die freie Oeffnung 0,2 F der Schichten selbst strömt:

$$v = \frac{L}{0,2 \times F \times \gamma}$$

Mithin ist

$$\frac{v_0}{v} \times \frac{0,2 \times F}{0,8 \times F} \times \frac{\gamma}{\gamma_0} = 0,25 \times \frac{\gamma}{\gamma_0}$$

und der Ueberdruck, welcher erforderlich ist um die Geschwindigkeit v_0 in die Geschwindigkeit v überzuführen, ist nach den allgemeinen Lehren der Mechanik

$$\frac{v^2}{2g} \times \gamma - \frac{v_0^2}{2g} \times \gamma_0 = \frac{v^2}{2g} \times \gamma \left(1 - \left(\frac{v_0}{v}\right)^2 \times \frac{\gamma_0}{\gamma}\right)$$

Setzt man nun in diesen Ausdruck den soeben ermittelten Werth von $\frac{v_0}{v}$ ein und berücksichtigt zugleich, dass die specifischen Gewichte der Luft sich wie die Drucke verhalten, unter welchen sich die Luft befindet und dass der Druck sich innerhalb zweier aufeinander folgender Schichten nur unmerklich ändert und deshalb auch γ_0 annähernd gleich γ ist, so findet man:

$$\frac{v^2}{2g} \times \gamma - \frac{v_0^2}{2g} \times \gamma_0 = 0,938 \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma$$

Dies ist nun der Ausdruck für den nöthigen Ueberdruck zu einmaliger Ueberführung der Geschwindigkeit v_0 in die Geschwindigkeit v, während man für $\frac{H}{d}$malige Ueberführung eines $\frac{H}{d}$mal so grossen Ueberdrucks benöthigt, d. h. eines Ueberdrucks

$$p_u'' = 0,938 \times \frac{H}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma$$

bedarf.

Für Brennmaterial, welches auf einem Rost aufgehäuft ist und von unten nach oben von Luft und Feuergasen durch-

strichen wird, ist $\frac{H}{d}$ die wirkliche Anzahl der Lagenfugen, während man bei Brennmaterialaufhäufungen, welche in entgegengesetzter Richtung durchstrichen werden und kein Rostauflager besitzen, eine Lagenfuge weniger, also $\left(\frac{H}{d} - 1\right)$ Lagenfugen in Rechnung einzusetzen hat.

Durch Addition der beiden Ausdrücke für p_u' und p_u'' erhält man den zur Ueberwindung des Gesammtwiderstandes (welcher durch Veränderung der Weite der Luftwege entsteht) erforderlichen Ueberdruck ausgedrückt durch

$$p_u = p_u' + p_u'' = 1{,}29 \times \frac{H}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma \quad . \quad (14)$$

Bisher wurde vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeit v, mit welcher die Luft durch die erste Brennmaterialschichte hindurch strömt, in allen folgenden Schichten wiederkehre; dies ist aber nicht zutreffend, da sowohl die Temperatur in den verschiedenen Schichten verschieden gross ist als auch die Gewichtsmenge der durch die verschiedenen Schichten hindurchströmenden Gasmasse im Allgemeinen in jeder folgenden Schichte grösser ist als in der vorhergehenden. Es erfolgt deshalb in der Regel, insbesondere wenn Wasserdampf an der Gewichtsvermehrung in bedeutendem Maasse betheiligt ist, auch ein Volumenzuwachs der Gase von Schichte zu Schichte. In welchem Verhältniss diese Zunahme im Ganzen erfolgen kann, wenn die Temperatur als wenig veränderlich angenommen werden kann (was bei geringer Schütthöhe, insbesondere bei selbstthätigem Nachsinken frischen Brennmaterials aus einem Füllschacht, zulässig ist) lässt sich am besten an einigen Beispielen ersehen.

Bei der auf Seite 113 betrachteten Koksfeuerung ergab sich die Nothwendigkeit, pro Kilogramm zu verbrennenden Koks 13 Kgr. Luft einzuführen und als Ergebniss vollständiger Verbrennung wurden ermittelt:

1) 10,73 Kgr. Stickstoff und Luft pro Stunde, entsprechend — bei 1000° — einem Volumen

$\frac{10,73}{1,26^{*})} \times (1 + 0,003665 \times 1000^0) = 39,724$ Kbm. stündlich oder

0,01104 Kbm. pro Sekunde.

2) 3,12 Kgr. Kohlensäure, entsprechend — bei 1000⁰ — einem Volumen von

$\frac{3,12}{1,97} \times (1 + 0,003665 \times 1000^0) = 7,388$ Kbm. stündlich oder

0,00205 Kbm. pro Sekunde.

3) 0,1 Kgr. Wasserdampf, dessen Volumen bis zu 200⁰ als dasjenige gesättigten Dampfes und darüber hinaus als dasjenige überhitzten Dampfes wie für ein permanentes Gas bestimmt werden kann. Da nun die Volumenzunahme eines Kgr. Dampfes von 200⁰ gegenüber einem Kgr. Wasser von 0⁰, nach Regnault 1,735 Kbm. beträgt, so nimmt 0,1 Kgr. Wasserdampf bei 1000⁰ ein Volumen

$0,1 \times 1,736 \times (1 + 0,003665 \times 800^0) = 0,6826$ Kbm. ein, entspr.

0,00019 Kbm. pro Sekunde.

Das Gesammtvolumen der Verbrennungsgase beträgt somit pro stündlichem Verbrauch eines Kilogramms Koks der betrachteten Qualität

sekundlich $0,01104 + 0,00205 + 0,00019 = 0,01328$ Kbm.

während die dazu nöthige Lufteinführung von 13 Kgr., bei 1000⁰ C. einem sekundlichen Volumen

$$\frac{13}{1,293} \times \frac{1 + 0,003665 \times 1000}{3600} = 0,01303 \text{ Kbm.}$$

entspricht. Der Volumenzuwachs der Feuergase im Brennmaterial beträgt also $0,01328 - 0,01303 = 0,00025$ oder annähernd 2 Prozent der eingeführten Luftmenge.

Betrachtet man dagegen ein Brennmaterial, welches 45 Gewichtstheile Kohlenstoff, 50 Gewichtstheile Wasser und 5 Gewichtstheile Aschebestandtheile enthält, so findet man, dass für stündliche Verbrennung eines Kgr. dieses Brennmaterials

---

*) Da nur sehr wenig Sauerstoff beigemischt ist, so ist das specifische Gewicht des Stickstoffs maassgebend.

eine Luftmenge einzuführen ist, deren Volumen bei 1000° auf die Sekunde ausgerechnet 0,006133 Kbm. beträgt.

Dabei erhält man aber als sekundliche Feuergasmenge bei vollständiger Verbrennung

0,005965	Kbm.	Stickstoff und Luft
0,001087	„	Kohlensäure und
0,000950	„	Wasserdampf

also ein Gesammtvol. von 0,008002 Kbm.
oder 30 Prozent mehr als an Luft in den Brennmaterialhaufen eingeführt wurde.

Man ersieht aus diesen beiden Beispielen, dass beim Verfeuern von gutem Brennmaterial ein Wassergehalt bis zu 10 Prozent des Gewichtes desselben, hinsichtlich der Vermehrung des Volumens der Feuergase ganz belanglos ist, dass dagegen der Einfluss eines grösseren Wassergehaltes hinsichtlich der Feuergasvermehrung nicht unbeachtet gelassen werden darf. In welcher Weise diese letzteren Falles ermittelt werden kann, ist aus der Durchführung des ersten Beispiels ohne Weiteres zu entnehmen.

Ist der Volumenzuwachs ermittelt, so ergiebt sich die in Rechnung zu setzende Feuergasgeschwindigkeit v in correkter Weise, wenn man zu dem Volumen der in die Brennmaterialmasse einzuführenden Luftgewichtsmenge den halben Volumenzuwachs addirt und die Summe durch die freie Durchlassöffnung einer Brennmaterialschichte dividirt, also in Zeichen ausgedrückt:

$$v = \frac{V_1 + \frac{1}{2}(V_f - V_1)}{0{,}2 \times F} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (15)$$

wenn V_1 das Volumen der durch die erste Brennmaterialschichte hindurchströmenden Luft in Kbm. und V_f das Volumen der aus der letzten Brennmaterialschichte weiterströmenden Feuergasmenge in Kbm. ist, während F wie bisher die ebene Querschnittsfläche des Raumes der Brennmaterialschüttung in qm bezeichnet. Natürlich kann man der Formel (15) auch die Form

$$v = \frac{V_1 + V_f}{0{,}4 \times F} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (15\,a)$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft in die Brennmaterialmasse, bezw. in die Spalten des Rostes einströmt, muss natürlich ebenfalls durch den verfügbaren Ueberdruck erzeugt werden. Dieselbe ist streng genommen kleiner als die nach Formel 15 berechnete Geschwindigkeit, nämlich $v' = \frac{V_1}{0{,}2\ F}$ oder $= \frac{V_1}{f_1}$, wenn f_1 die freie Durchgangsfläche einer Brennmaterialschichte bezeichnet, es empfiehlt sich jedoch, zumal diese Durchgangsfläche sich während der Feuerung etwas verändert (indem sie durch zerklüftete Brennmaterialstückchen, Asche und Schlacke etwas vermindert wird) und weil man ausserdem auch mit einer gewissen Sicherheit rechnen muss, die Einströmungsgeschwindigkeit ebenfalls gleich v (nach Formel 15) anzunehmen. Zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit ist aber nach den allgemeinen Lehren der Mechanik ein Ueberdruck von der Grösse

$$p_v = \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

erforderlich, welcher zu den vorher ermittelten Druckhöhen zu addiren ist, um den zur Ueberwindung aller Widerstände, welche die Durchströmung der Brennmaterialmasse hemmen, nöthigen Ueberdruck zu bestimmen.

Dieser Ueberdruck ist demnach:

$$p_1 = p_r + p_w + p_u + p_v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Vergleicht man nun den Ausdruck für p_r nach der Specialisirung (Formel 12a) mit den für p_w, p_u und p_v angegebenen Ausdrücken, so übersieht man, dass der Reibungswiderstand im Vergleich zu anderen Widerständen so gering ist, dass eine genaue Bestimmung desselben gänzlich bedeutungslos ist und dass man deshalb ohne Bedenken den specialisirten Ausdruck (Formel 12a) ganz allgemein als zulässig annehmen könnte; indessen mag zu voller Sicherheit ein für allemal der doppelte Werth dieser Specialformel in Rechnung eingeführt werden.

Bei solcher Annahme erhält man abgerundet, als praktisch brauchbaren Ausdruck für p_1

$$p_1 = \left(2 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17\,a)$$

und setzt man hierin für v den Ausdruck (15 a) und für g den Werth 9,81, so ergiebt die Umformung den Ausdruck

$$p_1 = 0{,}3185 \times \left(2 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{(V_1 + V_r)^2}{F^2} \times \gamma \quad (17\,b)$$

für gutes Brennmaterial, das nicht mehr als 10 Gewichtsprozente Wasser enthält, ist V_r nur um so wenig grösser als V_1, dass man die Differenz zwischen beiden Volumina vernachlässigen und demnach den nöthigen Ueberdruck einfacher ausdrücken kann durch:

$$p_1' = 1{,}274 \times \left(2 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \left(\frac{V_1}{F}\right)^2 \times \gamma \quad . \quad (18)$$

worin V_1 das Volumen der sekundlich einzuführenden Verbrennungsluft in Kbm. bei der mittleren Temperatur der verschiedenen aufeinander liegenden Brennmaterialschichten und γ das dieser Temperatur entsprechende specifische Gewicht der Luft bedeutet, während H die ganze Höhe der Brennmaterialaufhäufung, d die mittlere Dicke der Brennmaterialstücke und F die lichte Querschnittsfläche des Brennmaterialraumes oder auch *die totale Planrostfläche* (alle Bezeichnungen im Metermaass gedacht) bezeichnen.

Will man die sekundliche Luftgewichtsmenge in Rechnung setzen, so hat man nur zu beachten, dass, wenn dieselbe, in Kgr. gegeben, mit L_u bezeichnet wird, man hat:

$$L_u = V_1 \times \gamma$$

und dass demnach auch

$$p_1' = 1{,}274 \times \left(2 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{L_u^2}{\gamma \times F^2} \quad . \quad (18\,a)$$

Aus diesem Ausdruck ist zu entnehmen, *dass der Widerstand, den die Brennmaterialaufschüttung dem Durchzug der Luft, bezw. der Feuergase, entgegensetzt, bei gleicher Schütthöhe umso geringer ist, je grösser die Brennmaterialstücke* (je grösser die Dicke d derselben), *je grösser die lichte* [illegible]*erschnittsfläche F des Brennmaterialraumes* [illegible]. die Rostfläche) *und je grösser das mittlere*

specifische Gewicht der Feuergase (oder, was dasselbe heisst, je niedriger die mittlere Temperatur in der Brennmaterialaufhäufung) ist.

Nun ist zu bemerken, dass die vorstehend entwickelten Formeln nur für solche Brennmaterialaufhäufungen giltig sind, deren totale Querschnittsfläche (deren Schüttraumquerschnitt) überall gleiche Grösse hat und auch nur für solches Brennmaterial richtige Werthe ergiebt, dessen Stücke an Form und Dicke nicht viel von einander verschieden sind.

Werden sehr verschieden dicke Brennmaterialstücke von verschiedener Gestalt mit einander verfeuert, wie es insbesondere bei der Zimmerofenfeuerung durchweg zu geschehen pflegt, so erleiden die Feuergase bedeutend mehr Umbiegungen und zugleich geringere Querschnittsveränderungen. Der Faktor von $\frac{H}{d}$ im Klammerausdruck kann in solchem Falle bis zu 3,0 anwachsen. Es empfiehlt sich deshalb für den allgemeineren Gebrauch der Formeln, diesen Faktor durch den Buchstaben m_0 zu ersetzen, also insbesondere der letzteren Formel die Form

$$p_1' = 1{,}274 \times \left(m_0 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{L_u^2}{\gamma \times F^2} \quad . \quad (18\,b)$$

zu geben und bei sehr gleichmässiger Form und Dicke der Brennmaterialstücke und guter Ebnung derselben im Schütttraume $m_0 = 2$, bei ungleichmässiger Form und Dicke oder ungleichmässiger Schüttung der Brennmaterialstücke $m_0 = 2{,}5$ bis 3 zu setzen.

So lange man es mit Schütträumen von gleichmässigem oder sehr wenig veränderlichem Querschnitt zu thun hat, gelten die vorstehend entwickelten Formeln nicht blos für Oefen, in denen nur Brennmaterial aufgeschüttet ist, sondern auch für Schachtöfen für metallurgische Zwecke, insbesondere also für Schacht-Eisenschmelzöfen, d. i. Kupolöfen, und für Hochöfen, insoweit dieselben cylindrisch oder nur sehr schwach conisch gestaltet sind. Für diejenigen Theile solcher Schachtöfen, welche merklich verschieden weite Quer-

schnitte haben, muss anstatt der mittleren Geschwindigkeit der Feuergase das mittlere Geschwindigkeitsquadrat in Rechnung eingeführt werden. Die Formel (17a) ist in solchem Falle in der Form

$$p_1'' = \left(2 \times \frac{H}{d} + 1\right) \frac{(v^2)_m}{2g} \times \gamma_m \quad . \quad . \quad . \quad (17c)$$

anzuwenden, wenn $(v^2)_m$ das arithmetische Mittel aus den Quadraten der Geschwindigkeit an den verschiedenen Stellen des Ofens

schematisch $(v^2)_m = \frac{1}{n} \times \left(v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \ldots . + v_n^2\right)$

und γ_m dasjenige specifische Gewicht der Feuergase bezeichnet, welches an der Stelle vorhanden ist, woselbst die Feuergase die Geschwindigkeit $\sqrt{(v^2)_m}$ haben.

Auf Grund dieser Bedeutungen und der vorangehenden Betrachtungen kann man dem Ausdruck für p_1'' auch die Form geben:

$$p_1'' = 1{,}274 \times \left(2 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \left(\frac{L_g^2}{\gamma_1 \times F_1^2} + \frac{L_g^2}{\gamma_2 \times F_2^2} + \ldots . . + \frac{L_g^2}{\gamma_{n-1} \times F_{n-1}^2} + \frac{L_g^2}{\gamma_n \times F_n^2}\right) \times \frac{1}{n}$$

und wenn man beachtet, dass dem Werthe $\frac{H}{d}$ gegenüber bei sehr hohen Schachtöfen der zweite Summand (1) im ersten Klammerausdruck gar nicht in Betracht kommt, so kann man den zur Ueberwindung des gesammten Widerstandes in sehr hohen Schachtöfen erforderlichen Ueberdruck auch annähernd ausdrücken durch

$$p_1'' = \frac{2{,}55}{n} \times \frac{H}{d} \times \frac{L_g^2}{\gamma_1} \times \left(\frac{1}{F_1^2} + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \times \frac{1}{F_2^2} + \frac{\gamma_1}{\gamma_3} \times \frac{1}{F_3^2} + \ldots + \frac{\gamma_1}{\gamma_{n-1}} \times \frac{1}{F_{n-1}^2} + \frac{\gamma_1}{\gamma_n} \times \frac{1}{F_n^2}\right).$$

Wenn man nun weiter beachtet, dass die specifischen Gewichte sich umgekehrt verhalten wie die zugehörigen specifischen Volumina (die Volumina eines Kgr.) der Feuergase *und dass das* Volumen v_0 von 0° Cels. bei Annahme der Tem-

peratur t^0 unter atmosphärischem Druck, übergeht in das Volumen $v = v_0 (1 + \alpha t^0)$*), wenn α den cubischen Ausdehnungscoefficienten bezeichnet, der nach Tabelle V für Gase unter atmosphärischem Druck allgemein $\alpha = 0{,}003665$ ist, so hat man

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{v_0}{v} = \frac{1}{1 + \alpha t^0},$$

woraus folgt

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t^0}.$$

Wenn man also das specifische Gewicht der Feuergase bei 0^0 unter atmosphärischem Druck kennt, so kann man das specifische Gewicht derselben unter dem gleichen Druck für jede andere Temperatur t leicht berechnen.

Allgemein aber erhält man für gleiche Drucke:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{1 + \alpha . t_2}{1 + \alpha . t_1}, \frac{\gamma_1}{\gamma_3} = \frac{1 + \alpha . t_3}{1 + \alpha . t_1}, \ldots \frac{\gamma_1}{\gamma_n} = \frac{1 + \alpha . t_n}{1 + \alpha . t_1}$$

und man könnte demnach auch die Verhältnisse der specifischen Gewichte in der Formel für p_1'' durch die Temperaturen an den bezüglichen Stellen ausdrücken, wenn an allen Stellen der gleiche Druck herrschen würde. Letzteres ist aber bei höheren Schachtöfen nicht als zutreffend anzunehmen, vielmehr herrscht bei denselben an der Einströmungsstelle der Luft der Druck $\mathbf{a + p_1''}$ und an der freien oberen Mündung der Druck **a**, wenn letztere Bezeichnung für den atmosphärischen Druck gewählt wird. Es empfiehlt sich deshalb einen mittleren Druck

$$p_m = \frac{a + p_1'' + a}{2} = a + \frac{p_1''}{2} = 10336 + \frac{p_1''}{2}$$

in Rechnung einzuführen und nun zu beachten, dass die specifischen Gewichte der Gase unter verschiedenen Drucken sich auch wie diese verhalten. Nach dem Mariott-Gay-Lussac'schen Gesetz hat man unter solchen Verhältnissen allgemein

$$\frac{\gamma_m}{\gamma_1} = \frac{p_m}{a + p_1''} \times \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_m} = \frac{10336 + \frac{1}{2} p_1''}{10336 + p_1''} \times \frac{1 + \alpha . t_1}{1 + \alpha . t_m} \quad (19)$$

*) Vergl. S. 9.

wenn t_m die Temperatur bezeichnet, welche an derjenigen Stelle herrscht, an welcher der Druck p_m vorliegend ist.

Hiernach aber lässt sich der Ausdruck für p_1'' mit Annäherung auch schreiben:

$$p_1'' = \frac{2{,}55}{n} \times \frac{H}{d} \times \frac{L_g}{\gamma_m} \times \left(\frac{1}{F_1^2} + \frac{1}{F_2^2} + \frac{1}{F_3^2} + \cdots + \frac{1}{F_n}\right) \quad . \quad (20)$$

oder:

$$p_1'' = \frac{2{,}55}{n} \times \frac{H}{d} \times \frac{L_g \times \gamma_1 \times (10336 + \frac{1}{2} p_1'')}{10336 + p_1''} \times \frac{1 + \alpha \, . \, t_1}{1 + \alpha \, . \, t_m} \left(\frac{1}{F_1^2} + \frac{1}{F_2^2} + \cdots + \frac{1}{F_n^2}\right) \quad . \quad . \quad (20a)$$

wenn F_1, F_2, F_3 die Querschnittsflächen der verschiedenen aufeinander folgenden Stellen, t_1 die im Querschnitt F_1 herrschende und t_m die vorstehend gekennzeichnete mittlere Temperatur bezeichnet.

Da nun in dem Ausdruck rechts vom Gleichheitszeichen p_1'' selbst als Summand in Zähler und Nenner auftritt, so muss man wieder im Vermittelungswege rechnen, indem man zunächst annimmt, der Bruch $\frac{10336 + \frac{1}{2} p_1''}{10336 + p_1''}$ sei von 1 so wenig verschieden, dass er durch 1 ersetzbar ist; es wird hiernach p_1'' berechnet und der Werth des Bruches $\frac{10336 + \frac{1}{2} p_1''}{10336 + p_1''}$ etwas verbessert, um abermals die Rechnung nach Formel (20a) durchzuführen u. s. f., bis man grösstmögliche Uebereinstimmung zwischen dem provisorisch in Rechnung eingesetzten und dem danach durch Weiterrechnung ermittelten Werthe von p_1'' erzielt. Derartige Vermittelungsrechnung wurde bereits wiederholt vorgeführt (vergl. S. 108—110 und 114—115).

Die in Rechnung einzusetzende Gasgewichtsmenge L_g muss für jede Art der Schachtofenbeschickung besonders ermittelt werden, da sie der Regel um einen nicht vernachlässigbaren Prozentsatz r ist als die einzuführende Verbrennungsluftmenge. Betrachtungen hierüber gehören in Specialgebiete de etc.).

Hinsichtlich der Formeln 18 bis 20a ist allgemein noch Folgendes zu bemerken:

Ist das Brennmaterial (und damit der Faktor m_0 zu Formel 18b), sowie die Dicke d der Brennmaterialstücke und die nöthige Verbrennungsluftgewichtsmenge L_u, bezw. die Feuergasgewichtsmenge L_g als gegeben zu betrachten, so bleiben noch die Schütthöhe H und die Querschnittsdimensionen F, bezw. F_1, F_2, F_3 u. s. f. wählbar.

Hierbei ist nun zu beachten, dass, wenn die Feuergase von unten nach oben durch die Brennmaterialmasse hindurchströmen, ihre Temperatur nach oben hin um so mehr abnimmt, je geringer die Wärmeentwickelung der einzelnen Brennmaterialschichten im Verhältniss zu ihrer Ausdehnungsfläche ist.

Will man oberhalb der Brennmaterialaufhäufung möglichst weit abgekühlte Verbrennungsgase haben, wie sie ein rationeller Betrieb bei *Schachtofenfeuerung für industrielle Zwecke* bedingt, so ergiebt sich dafür als naheliegendes Mittel die Anordnung einer *Erweiterung des Schachtes von der heissesten Zone aus aufwärts im Vereine mit mehr oder weniger hoher Aufschüttung über dieser Zone*. Je jäher dabei der Uebergang aus dem engen Querschnitt der heissesten Zone zu einem weiteren Schachtquerschnitt vor sich geht, desto rascher nimmt die Temperatur nach oben hin ab; *je rascher aber diese Temperaturabnahme vor sich geht, desto mehr wird auch die Wärmeabgabe der heissesten Zone durch Strahlung nach oben begünstigt und desto schwieriger ist es daher, in der heissesten Zone eine sehr hohe Temperatur zu erzeugen*, wohingegen die Wärmeabgabe durch Strahlung um so weniger beträchtlich ist, je mässiger die Erweiterung nach oben vorgenommen wird und je grösser dafür die Schüttungshöhe gewählt wird, und dazu kommt noch, dass dabei auch das aufgeschüttete Brennmaterial um so allmählicher bis zur höchsten Temperatur der heissesten Zone vorerhitzt wird, wodurch die Erzeugung sehr hoher Temperatur in dieser letzteren begünstigt wird.

Demnach ergiebt sich für solche Fälle, in welchen in der heissesten Zone eines Schachtofens sehr hohe Temperatur erzeugt werden muss, die Bedingung, die Zunahme des Querschnitts von der heissesten Zone nach oben hin in möglichst schwacher Abschrägung vorzunehmen. Eine schwache Abschrägung ist nur möglich, wenn man entweder die Querschnittszunahme sehr lang gestreckt vornimmt oder überhaupt nur sehr wenig Querschnittszunahme wählt. Das erstere Mittel hat zur Folge, dass der mittlere Querschnitt des ganzen Schachtraumes kleiner wird, als wenn man an eine kurze Schrägung einen cylindrischen Füllraum anschliesst, und da der Widerstand in bedeutendem Maasse mit abnehmendem Querschnitt zunimmt, so ergiebt sich, dass man entweder wesentliche Erhöhung des Widerstandes in Kauf nehmen oder auf langgestreckte Schrägung (Einengung nach unten „Rast" genannt) verzichten muss und daraus folgt weiter, dass eine starke Einengung des Schachtes nach unten im Allgemeinen nur nachtheilig ist. Insbesondere aber gilt dies für schwer verbrennliches Brennmaterial, während bei Verwendung von leicht verbrennlichem Brennmaterial, unter sonst gleichen Umständen, eine starke Einengung eher zulässig ist, insoweit eine solche kurz gehalten werden kann, ohne zu grosse Temperaturverschiedenheit der nächsten über der heissesten Zone befindlichen Brennmaterialschichten zu verursachen.

Es ergiebt sich sonach die Regel:

Einschnürungen in Schachtöfen gegen die heisseste Zone hin sind so kurz als möglich zu halten und müssen um so schwächer (um so weniger verjüngend) gewählt werden, je schwer verbrennlicher das verwendete Brennmaterial ist.

Will man oberhalb der Brennmaterialaufhäufung ichst hoch erhitzte Feuergase haben, so ergeben en angestellten Betrachtungen, dass eine Einengung

des Schüttraumes nach oben ein solches Ziel begünstigen würden; doch würde eine solche Einrichtung eine Aufschüttung des frischen Brennmaterials in grösserer Dicke bedingen, derzufolge der Vortheil, den die Einengung in einer Hinsicht bieten könnte, durch einen gleichzeitig zur Geltung kommenden Nachtheil bei weitem übertroffen würde. Zudem würde die Einengung auch den Widerstand der Feuergase zwecklos erhöhen. Indessen kann man den Vortheil einer Verminderung der Ausdehnungsfläche der (in Wärmeentwickelung begriffenen) von den Feuergasen zuletzt durchzogenen Brennmaterialschichten in anderer Weise erstreben, nämlich in der Weise, dass man die der Verbrennungsluft **zunächst ausgesetzte** Oberfläche des Brennmaterials grösser wählt als die Oberfläche des frisch aufgeschütteten Brennmaterials. Man muss sich hierzu des Mittels der Lufteinführung von den Seiten des Brennmaterialraumes her bedienen, welches Mittel beispielsweise bei der Wahl eines Korbrostes zur Geltung gelangt. Dieses Mittel wird ganz besonders dann empfehlenswerth, wenn das zu verfeuernde Brennmaterial schwer verbrennlich ist und von Natur zu seiner Verbrennung einer grösseren Zusammenhäufung bedarf, wie z. B. Koks. Doch muss bei der Einrichtung besondere Vorsorge dafür getroffen werden, dass eine Zerstörung der luftdurchlässigen Stütze des Brennmaterials durch die starke Hitze nicht leicht eintreten kann.

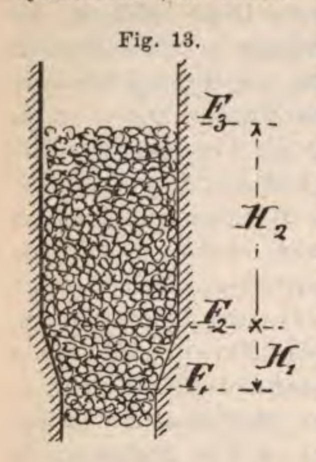
Natürlich darf der Aufgabe gemäss die von den Feuergasen durchzogene Schüttungshöhe (oder Dicke) nicht grösser sein, als dass ein völliges Erglühen der ganzen durchzogenen Brennmaterialmasse erfolgen kann.

Die Bedeutung des Widerstandes, den die Brennmaterialmasse der Feuergasbewegung entgegensetzt, lässt sich am besten an einigen Beispielen übersehen.

Ein Kupolofen, dessen Füllraum von der in Fig. 13 (siehe S. 140) skizzirten Art ist, habe eine Rast, deren untere Fläche $F_1 = 0{,}5$ qm, deren obere Fläche $F_2 = 1{,}33$ qm und deren

Höhe $H_1 = 0{,}4$ m betrage. Der Füllraum über der Rast sei cylindrisch (der oberste Querschnitt F_3 also ebenso gross wie der Querschnitt F_2) und habe eine Höhe $H_2 = 2{,}5$ m. Die Füllung bestehe aus Koksstücken von 0,06 m Dicke. Die Temperaturen seien im untersten Querschnitt F_1 der Rast 1500° C., im obersten Rastquerschnitt 1300° C. und in der obersten Schicht der cylindrischen Füllung, in F_3, 300° C.

Fig. 13.



Betrachtet man zunächst die Rast für sich, so erhält man dafür, im Hinblick auf den auf Seite 134 gegebenen Entwickelungsgang, für den Widerstand

$$p_1'' = 1{,}274 \times \left(2 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{L_g^2}{\gamma_1} \times \left(\frac{1}{F_1^2} + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \times \frac{1}{F_2^2}\right) \times \frac{1}{2}$$

Werden stündlich 240 Kgr. Koks verbrannt, so ist das sekundliche Feuergasgewicht $L_g = 0{,}866$ Kgr. und nimmt man an, das specifische Gewicht der Feuergase sei nur sehr wenig verschieden von dem atmosphärischer erhitzter Luft, so findet man $\gamma_1 = \dfrac{1{,}2932}{1 + 0{,}003665 \times 1500} = 0{,}199$ und $\dfrac{\gamma_1}{\gamma_2} = 0{,}8872$, während $\dfrac{H}{d} = \dfrac{0{,}4}{0{,}06} = 6{,}66$, $F_1^2 = 0{,}25$ und $F_2^2 = 1{,}769$.
Danach ergiebt die Rechnung:

$$p_1'' = 1{,}274 \times 14{,}32 \times 3{,}77 \times 2{,}25 = 154{,}7 \text{ Kgr.}$$

entsprechend dem Druck einer Wassersäule von 155 mm Höhe.

Für den cylindrischen Füllraum ergiebt die Rechnung nach Formel (18a), da γ für 800° C. zu ermitteln ist und dafür annähernd 0,3289,

$$p_1' = 1{,}274 \times 42{,}66 \times \frac{0{,}75}{0{,}3289 \times 1{,}769} = 138{,}88 \text{ Kgr.},$$

-chend dem Druck einer Wassersäule von 139 mm.

-rsieht hieraus, dass die hohe cylindrische Füllung -rstand verursacht als die niedrige Rast und dass

somit die Einhaltung der auf Seite 138 angegebenen Regel hinsichtlich des Widerstandes der Feuergase und beziehungsweise des zu seiner Ueberwindung nothwendigen Ueberdrucks von grosser Bedeutung ist.

Bei einfacher Planrostfeuerung ist die Höhe H der Schüttung über dem Roste in den meisten Fällen unbedeutend; bei Anthracit- und Koksöfen, bei den sogen. Säulenöfen und endlich bei der Generatorgaserzeugung kommen allerdings auch Anhäufungen von einiger Höhe vor, doch ist bei den genannten Oefen sowohl als auch bei Gasgeneratoren das sekundliche Gasgewicht verhältnissmässig gering. Als Beispiel mag ein mit Koks geheizter Zimmerofen, in welchem stündlich 3 Kgr. Koks über einem Rost von $F = 0{,}1$ qm totaler Fläche und zwar in einer Schüttungshöhe von 0,5 m verbrannt werden, näher betrachtet werden. Der gebräuchliche Gaskoks für Zimmeröfen hat sehr verschiedene Stückendicke und es mag das Mittel der verschiedenen Dicken etwa 0,02 m betragen. Wird angenommen, dass pro Kgr. Koks 13 Kgr. Verbrennungsgase entstehen und dass in der Brennmaterialmasse eine Temperatur von 1100° C. bestehe, so erhält man nach der Formel (18b)

$$p_1' = 1{,}274 \times \left(3 \times \frac{0{,}5}{0{,}02} + 1\right) \times \frac{\left(\frac{39}{3600}\right)^2}{0{,}257 \times 0{,}01} = 4{,}42 \text{ Kgr.}$$

Bei Dampfkesselfeuerungen ist zwar die Schütthöhe des Brennmaterials über dem Rost in der Regel nur gering, aber das sekundlich entstehende Verbrennungsgasgewicht gross, weshalb der Widerstand der Gasbewegung in der Brennmaterialaufhäufung mitunter nicht ganz unbedeutend ist.

Nimmt man des Beispiels halber an, es werde Steinkohle in Nussgrösse (von etwa 12 mm Dicke) auf einem Rost von 1 qm Flächengrösse in 0,3 m dicker Lage verbrannt und die stündliche Verbrennungsmenge sei 50 Kgr., die sekundliche also $\frac{50}{3600} = 0{,}0139$ Kgr. Steinkohle, welche bei normaler Verbrennung $13 \times 0{,}0139 = 0{,}181$ Kgr. Feuergase ergeben und eine Temperatur von 1000° C. in der Brennmaterialmasse

selbst erzeugen möge, so ist, weil die Brennmaterialstücke gleich dick sind,

$$p_1' = 1{,}247 \times \left(2 \times \frac{0{,}3}{0{,}012} + 1\right) \times \frac{0{,}03276}{0{,}2772 \times 1} = 7{,}6 \text{ Kgr.}$$

Natürlich ist bei allen derartigen Feuerungsanlagen der Widerstand in der Brennmaterialmasse immer erheblich viel geringer als der in Schachtöfen auftretende.

Die Widerstände in den Feuerzügen und Rauchabzugskanälen sind völlig gleicher Art wie die in den Luftwegen des Brennmaterialhaufens auftretenden; doch kommen dabei wesentlich andere Verhältnisse in Betracht, deren Festsetzung in weiterem Umfang in die Hand des Construkteurs gegeben ist als dies hinsichtlich der in der Brennmaterialmasse auftretenden Widerstände möglich ist.

Der Reibungswiderstand erfordert zu seiner Ueberwindung einen Ueberdruck, welcher ausdrückbar ist durch

$$p_r = \frac{0{,}006 \times U \times L}{F_0} \times \frac{v_2^2}{2\,g} \times \gamma_2 \quad . \quad . \quad (21)$$

wenn U den Umfang des Zug-, bezw. Canalquerschnittes, F_0 des letzteren Flächengrösse, L die Zug-, bezw. Canallänge, v_2 die Geschwindigkeit (bezogen auf die Sekunde) der Feuer-, Rauchgase und endlich γ_2 das specifische Gewicht der
lle Dimensionen im Metermaass und Gewicht und Druck
gramm) bezeichnen.

erzu ist zunächst zu bemerken, dass die Theilung
euerzuges in zwei Zweigcanäle (welche na-
bei Dampfkesselanlagen vielfach gebräuchlich ist),
n jeder die Hälfte der Feuergase leitet, immer
rösseren Reibungswiderstand verursacht
Anordnung von zwei eben so langen Feuer-
die nacheinander die Feuergase vollstän-
ten, weil im ersteren Falle das Verhältniss $\frac{2 \times U \times L}{F_0}$
t als im letzteren Falle. Man überzeugt sich von
sache leicht, wenn man irgend eine Querschnitts-
ein Rechteck (vergl. Figur 14), dessen Umfang
n Flächeninhalt ($2\,f_0$) sei, durch eine Mittel-

linie von der Länge b in zwei gleich grosse Theile theilt; denn in diesem Falle ist der Umfang jedes halben Querschnittes $u + b$ und der Flächeninhalt jedes derselben f_0, und mithin erhält man für zwei Canäle dieses Querschnittes

Fig. 14.

b

$$\frac{2 \times U \times L}{F_0} = \frac{2 \times (u + b) \times L}{f_0},$$

während man für einen doppelt so langen Canal, dessen Querschnitt dem ungetheilten Rechteck gleich ist, erhält:

$$\frac{2 \times U \times L}{F_0} = \frac{2 \times 2u \times L}{2 f_0},$$

welcher Ausdruck um den Betrag $\frac{2b}{f_0} \times L$ kleiner als der erste.

Dass diese Beziehung auch für quadratische und kreisförmige Querschnitte zutrifft, übersieht man ebenso leicht; denn ist a die Seitenfläche eines quadratischen und r der Halbmesser eines kreisförmigen Zweigcanales von der Länge L und b die Seitenfläche eines quadratischen oder r_1 der Halbmesser eines kreisförmigen Querschnitts von doppelt so grossem Flächeninhalt, so ist $b^2 = 2a^2$ oder $b = a \times \sqrt{2}$ und $r_1^2 \times \pi = 2 . r^2 \times \pi$ oder $r_1 = r \times \sqrt{2}$, und man hat somit für zwei Zweigcanäle

$$\frac{2 \times U \times L}{F} = \frac{2 \times 4a \times L}{a^2} \text{ oder } \frac{2 \times 2r\pi \times L}{r^2 \pi},$$

während man für einen doppelt so langen Canal des doppelten Querschnitts hat

$$\frac{2 \times U \times L}{F} = \frac{2 \times 4a \times \sqrt{2} \times L}{2a^2} \text{ oder } \frac{2 \times 2 \times r \times \pi \times \sqrt{2} \times L}{2r^2\pi}$$

Mithin verursacht der doppelt so lange weitere Canal nur $\frac{\sqrt{2}}{2} = 0{,}707$, d. i. etwa 71 Prozent der Reibung, welche zwei Zweigcanäle von der einfachen Länge L verursachen.

Man übersieht hiernach, dass bei den sogen. Rauchrohrkesseln, bei welchen der erste Feuerzug in zahlreiche *enge* Röhren (fälschlich Siederöhren genannt)

vertheilt wird, der Reibungswiderstand für die Feuergase bedeutend grösser ist als bei Einflammrohrkesseln, indessen ist in diesem Umstande *bei vollständig ausgebrannten* Feuergasen, resp. Verbrennungsgasen, nicht ein Nachtheil, sondern ein Vortheil zu erblicken, weil eine Hemmung der hocherhitzten Verbrennungsgase in dem ersten Zuge eine grössere Wärmeabgabe derselben auf verhältnissmässig kleiner Bahnlänge gewährt. Freilich muss die Verbrennung der Gase *vollendet* sein, bevor dieselben in die engen Feuerröhren einströmen, weil ihre starke Abkühlung in diesen Röhren ein Weiterverbrennen nicht zulässt, so dass alle unverbrannten Feuergase, welche in die engen Feuerröhren einströmen, entweder überhaupt unverbrannt entweichen oder, unter Verhältnissen, welche für die Feuerungsanlage in der Regel ungünstiger sein würden, *nach dem Verlassen der Feuerröhren* in einem möglichst gegen Abkühlung geschützten Raume mit *sekundär zugeführter, stark erhitzter Verbrennungsluft verbrannt werden müssen.* Geschieht letzteres, so kann man die nunmehr vollständig ausgebrannten Gase zum Zweck rascher Ausnutzung ihrer Wärme auch noch durch ein zweites System enger Röhren hindurchleiten; wird dagegen eine Verbrennung der aus einem ersten Feuerrohrsystem kommenden Gase in der erwähnten Weise nicht vorgenommen, so bietet ein Hindurchleiten derselben durch ein zweites Feuerröhren- (resp. Rauchröhren-) System im Allgemeinen keinen Vortheil, wohl aber leicht Nachtheil und zwar selbst dann, wenn man den Röhren des zweiten Systems einen *wesentlich grösseren* Durchmesser als denen des ersten Systems giebt. Eine Ausnahme kann nur dann vorkommen, wenn beide Röhrensysteme *sehr kurz sind.*

In dieser Hinsicht ist aber zu bemerken, dass eine Länge 2 Metern für ein Röhrensystem in der Regel schon nicht als kurz zu bezeichnen ist, weil die Verbrennungsgase Rauchröhrensystem, welches mehr als 2 Meter Länge sehr wenig mehr Wärme abgeben als einem s diese Länge besitzt. Sollen die Verbrennungs-

gase noch mehr Wärme abgeben als sie in einem solchen Röhrensystem abzugeben vermögen, so muss man darauf bedacht sein, sie mit kühleren Flächen in Wechselwirkung zu bringen, wobei die Wärmeabgabe durch Strahlung, welche ohnehin doch bedeutender ist als die durch Berührung erfolgende, auch in weiteren Zügen hinreichend zur Geltung gelangt.

Nur das Bestreben grosse Wärmemengen, die an sehr heisse Verbrennungsgase gebunden sind, auf möglichst kurzem Wege derselben auszunützen, rechtfertigt die Vertheilung eines Zuges in zahlreiche enge Züge, während die Verzweigung abgekühlter Verbrennungsgase nur einer nutzlosen Vermehrung des Reibungswiderstandes gleich zu achten ist.

Da der quadratische und der kreisförmige Querschnitt den kleinsten Umfang haben, so ist es empfehlenswerth, den Feuer- und Rauchgascanälen möglichst derartige Querschnittsformen zu geben. In beiden Fällen ist das Verhältniss des Umfangs zur Querschnittsfläche das gleiche, nämlich

$$\frac{U}{F} = \frac{4\,D}{D^2} = \frac{\pi\,D}{\frac{\pi\,D^2}{4}} = \frac{4}{D},$$

wenn D die Seitenlänge des quadratischen oder den Durchmesser des kreisrunden, allgemein ausgedrückt „die lichte Weite“ des Querschnitts, bezeichnet. Für Canäle von quadratischem und von kreisrundem Querschnitt nimmt daher der allgemeine Ausdruck für den zur Ueberwindung des Reibungswiderstandes nöthigen Ueberdruck die Form an:

$$p_r = \frac{0{,}024\,L}{D} \times \frac{v_2^2}{2\,g} \times \gamma_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21\,a)$$

Aus der besprochenen Beziehung zwischen dem quadratischen und dem kreisförmigen Querschnitt folgt, dass ein Canal, dessen Querschnitt kreisförmig ist, ebensoviel Reibungswiderstand verursacht wie ein

Canal von quadratischem Querschnitt, welcher den Querschnitt des ersteren Canals berührend umschliesst.

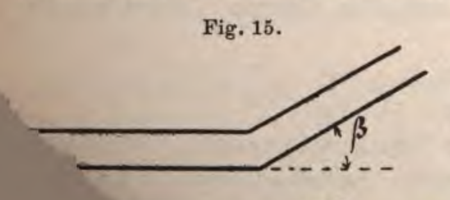
Da ein Canal von quadratischem oder von kreisförmigem Querschnitt bei gleicher Geschwindigkeit der Verbrennungsgase mehr derselben leitet als ein in anderem Querschnitt hergestellter, so empfiehlt es sich, allen Feuergas- bezw. Rauchgascanälen möglichst quadratischen oder kreisförmigen Querschnitt zu geben. Auch würden sich beide Querschnitte für Schornsteine gleich gut empfehlen, wenn nicht hierbei die Anlagekosten bedeutend ins Gewicht fielen, welche es für sehr hohe Schornsteine zweckmässiger erscheinen lassen den kreisförmigen Querschnitt zu wählen, der weniger Mauermaterial erfordert.

Die Rauhheit der Canalwandung hat auf den Reibungswiderstand der Gase nur verschwindend geringen Einfluss. Péclet fand nämlich, dass der Reibungswiderstand der Luft in Blechröhren, in gusseisernen und in gemauerten Röhren ganz genau gleich gross ist, wenn das Verhältniss $\frac{\text{Umfang}}{\text{Querschnitt}}$ in allen drei Fällen das gleiche ist.

Wenn die Feuergas- und Rauchgaszüge nicht in gerader Richtung hintereinander liegen, so kommt als zweiter Widerstand **der Umbiegungswiderstand** in Betracht. Derselbe ist, je nachdem der Uebergang der einen Bewegungsrichtung in die nächstfolgende unvermittelt (plötzlich) oder allmählich erfolgt, sehr verschieden gross.

Bei unvermitteltem Uebergang einer Bewegungsrichtung in eine andere, welche mit der ersten einen Winkel β (vergl. Fig. 15) bildet, entsteht ein Widerstand, welcher innerhalb der Winkelbeträge 0° und 90° nach Péclet zu seiner Ueberwindung einen Ueberdruck

Fig. 15.



$$p_s = \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3 \times (\sin \beta)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

erfordert, wenn v_3 die an der Uebergangsstelle im Canale vorherrschende Geschwindigkeit und γ_3 die daselbst bestehende Dichtigkeit der Verbrennungsgase bezeichnet.

Ist also der Uebergangswinkel $\beta = 90^0$, so ist der zur Ueberwindung des Umbiegungswiderstandes erforderliche Ueberdruck

$$p_s = \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3$$

d. i. ebenso gross wie der der Geschwindigkeit v_3 entsprechende Ueberdruck.

Ist die Uebergangsecke mehrfach gebrochen und erfolgt jede Brechung des Uebergangs unter gleich grossem Uebergangswinkel β (vergl. Fig. 16), so ist man geneigt anzunehmen, dass der zur Ueberwindung des Umbiegungswiderstandes erforderliche Druck als Summe von Einzelwerthen, die sich nach der Formel (22) ergeben, zu bestimmen ist; indessen hat sich herausgestellt, dass der Gesammtwiderstand in Wirklichkeit etwas grösser ist als er sich bei solcher Berechnung ergiebt. Immerhin ist die Anwendung der Formel (22) für diesen Fall geeignet den Werth der Brechungen scharfer Ecken zu beurtheilen.

Fig. 16.

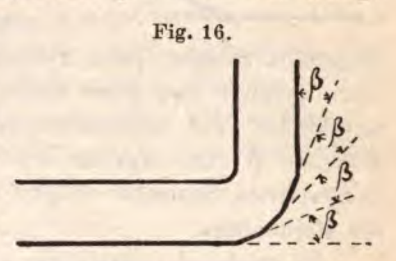


Fig. 17.

Denkt man sich die Ecken durch eine einzige Fläche gebrochen, welche mit den beiden Canalrichtungen Winkel von 45⁰ bildet (vergl. Fig. 17), so erhält man als Summe der Widerstände

$$p_s = 2 \times \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3 \times (\sin 45)^2 = 2 \times \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3 \times 0{,}5 = \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3$$

Dies ist aber genau derselbe Widerstand, wie er sich ergiebt, wenn man die Ecke nicht bricht.

Wenn man dagegen die Ecken zweimal bricht (vgl. Fig. 18), so dass der Uebergang durch 3 Winkel von je 30° gebildet wird, dann ergiebt die Summe

$$3 \times \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3 \times (\sin 30)^2 = 0{,}75 \times \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3.$$

Fig. 18.

Bei ganz allmählichem Uebergang der einen Richtung, also gut abgerundeter Biegung, ist der Umbiegungswiderstand zweifellos am geringsten und ebenso zweifellos um so geringer, je grösser der Krümmungsradius ist. Untersuchungen in dieser Richtung sind zwar angestellt worden, jeder Forscher ist aber zu anderen Resultaten gelangt und jeder hat danach eine Berechnungsformel aufgestellt, die innerhalb gewisser Grenzen annähernd zutreffende Werthe ergeben wird, aber keine von allen bisher aufgestellten Formeln erweist sich innerhalb weiter Grenzen als stichhaltig.

Es erscheint deshalb am zweckmässigsten, sich der sehr einfachen Péclet'schen Formel zu bedienen, welche vom Krümmungsradius unabhängig ist und nach Péclet's sorgfältigen Versuchen für kurze Krümmungen zuverlässig ist. Dieselbe hat die Form

$$p'_s = \frac{\beta}{180^0} \times \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

in welcher β, v_3 und γ_3 dieselbe Bedeutung haben wie in Formel (22). Man erhält hiernach für $\beta = 90^0$

$$p'_s = 0{,}5 \times \frac{v_3^2}{2g} \times \gamma_3$$

Weitere Widerstände ergeben sich aus **Querschnittsveränderungen der Canäle.**

Strömen die Gase aus engeren Canälen in weitere über, so dehnen sie sich in den letzteren aus und setzen ihren Weg mit verminderter Geschwindigkeit fort. Braucht die Geschwindigkeit im weiteren Verlaufe nicht wieder erhöht zu werden, so ergiebt sich daraus kein besonderer

Druckverlust, weil ja die einmal erzeugte Geschwindigkeit schliesslich doch vernichtet wird, wenn die Gase ins Freie gelangen. Auch ist es dabei völlig gleichgültig, ob der Uebergang aus dem engeren Canale in den weiteren plötzlich oder allmählich erfolgt, weil der Uebergang der grösseren Geschwindigkeit in die kleinere, vermöge der vollkommenen Elasticität der Gase, gänzlich ohne Stoss und übrigens, trotz der plötzlichen Canalerweiterung, keineswegs plötzlich erfolgt, vielmehr bilden sich an der Uebergangsstelle stagnirende elastische Gaskissen, welche den sanftesten Uebergang bewirken.

Ganz anders dagegen verhält es sich beim Uebergang der Gase aus einem weiteren Canal in einen engeren, indem hierbei durch Ueberdruck nicht nur eine grössere Geschwindigkeit erzeugt, sondern auch ein Contraktionswiderstand überwunden werden muss.

Nach Péclet ist der durch den Contraktionswiderstand bedingte Ueberdruck ausdrückbar durch

$$p'_c = \varphi \times \frac{v_4^2}{2g} \times \gamma_4$$

wenn v_4 die in dem engeren Canale eintretende Geschwindigkeit und γ_4 die in diesem Canale bestehende Dichtigkeit der Gase bezeichnet, während φ einen Coefficienten darstellt, der von der Art des Uebergangs der beiden aufeinander folgenden Canäle abhängt. Bezeichnet f_0 die lichte Querschnittsfläche des engeren und F_0 die lichte Querschnittsfläche des vorhergehenden weiteren Canals, so ist für plötzlichen Uebergang des Querschnitts:

für $\frac{f_0}{F_0}$ =	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,36
φ =	0,02	0,096	0,175	0,254	0,32	0,38	0,47

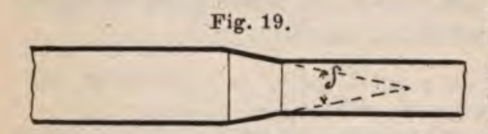
für $\frac{f_0}{F_0}$ =	0,49	0,64	0,81	1,00
φ =	0,43	0,22	0,17	0

Man ersieht hieraus, dass bei sehr grosser Verschiedenheit der beiden Canalweiten der durch Contraktion verursachte Widerstand noch un-

bedeutender ist, als bei sehr geringer Verschiedenheit der Canalweiten und dass der Contraktionswiderstand am grössten ist, wenn das Verhältniss der beiden Canalquerschnitte $^1/_4$ bis $^1/_2$ beträgt: Die Ursache des geringen Contraktionseinflusses bei sehr grosser Verschiedenheit der Canalweiten ist wieder darin zu suchen, dass sich an der Uebergangsstelle ruhende elastische Gaskissen bilden, deren vortheilhafte Wirkung umsomehr ins Gewicht fällt, je umfangreicher sie sind.

Erfolgt der Uebergang zwischen den **verschiedenweiten** Canälen allmählich, so hängt der Contraktionswiderstand nur von dem Convergenswinkel der Uebergangswände ab. Liegen die Achsen der beiden Canäle in einer Geraden und sind die Querschnitte derselben einander ähnlich, so dass die Convergenswinkel der Wände überall (mit Ausnahme der an den Ecken sich ergebenden) einander gleich sind, so hat man, wenn δ den Convergenswinkel (vgl. Fig. 19) bezeichnet, nach Péclet

Fig. 19.



für $\delta =$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	100°
$\varphi =$	0,13	0,18	0,23	0,29	0,30	0,32	0,38

Vergleicht man diese Werthe mit den vorher betrachteten, so erkennt man, dass, wenn die Weiten der aufeinander folgenden Gas-Züge und Canäle sehr verschieden sind, es im Allgemeinen zweckmässiger ist, **keine** allmählichen Uebergänge zwischen ihnen zur Ausführung zu bringen, dass ferner allmähliche Uebergänge bei geringer Verschiedenheit der Canalweiten **zwecklos** sind und dass endlich in dem Falle, in welchem das Verhältniss der Canalweiten zwischen $^1/_4$ und $^1/_2$ liegt, allmähliche Uebergänge nur dann einen beachtenswerthen Vortheil bieten, wenn die Uebergangsstellen sehr langgestreckt ausgeführt werden, so dass ihre Convergenswinkel zwischen 10 und 20° betragen.

Allgemein bemerkt:

Die Herstellung allmählicher Uebergänge, denen man oft sehr grossen Werth beimisst, ist im Allgemeinen bedeutungslos und bei sehr grosser Verschiedenheit der Canalweiten sogar unzweckmässig.

Deshalb sind beispielsweise Verbindungscanäle, welche sehr weite Züge (wie sie sowohl unter als auch über Dampfkesseln vielfach — und zwar mit Recht — gebräuchlich sind) verbinden, ohne Abschrägung an die letzteren anzuschliessen; dagegen empfiehlt es sich ihre Uebergangskanten gut abzurunden, um etwaigen Umbiegungswiderstand zu vermindern (insoweit eine Umbiegung vorliegt) und ausserdem sind solche Verbindungscanäle entweder in unmittelbarer Fortsetzung einer Mauerwand des weiten Zuges oder recht weit von allen Ecken desselben entfernt zu legen, um entweder Contraktionen so weit als möglich zu vermeiden oder grosse Luftkissen an den Uebergangsstellen zu erhalten.

Die durch Verminderung der Canalweite bedingte Geschwindigkeitszunahme erfordert einen Ueberdruck

$$p_c'' = \frac{v_4^2}{2g} \times \gamma_4 - \frac{v_0^2}{2g} \times \gamma_0 = \frac{v_4^2}{2g} \times \gamma_4 \times \left(1 - \left(\frac{v_0}{v_4}\right)^2 \times \frac{\gamma_0}{\gamma_4}\right)$$

wenn v_0 und γ_0 die Geschwindigkeit und das specifische Gewicht der im weiteren vorhergehenden Canale und v_4 und γ_4 gleichartige Werthe für die im folgenden engeren Canale sich bewegenden Gase bezeichnen.

Da nun $F_0 \times v_0 \times \gamma_0 = f_0 \times v_4 \times \gamma_4$, so ist

$$\frac{v_0}{v_4} = \frac{f_0 \times \gamma_4}{F_0 \times \gamma_0}$$

und mithin

$$p_c'' = \frac{v_4^2}{2g} \times \gamma_4 \times \left(1 - \frac{f_0^2}{F_0^2} \times \frac{\gamma_4}{\gamma_0}\right)$$

Ist die Temperatur in dem engeren Canale die gleiche wie in dem weiteren, so ist $\frac{\gamma_4}{\gamma_0} = 1$ und

$$p_c'' = \frac{v_4^2}{2g} \times \gamma_4 \left(1 - \frac{f_0^2}{F_0^2}\right)$$

und der ganze durch die Canalverengung bedingte Ueberdruck ist dann

$$p_c = p'_c + p''_c = \frac{v_4^2}{2g} \gamma_4 \left(\varphi + 1 - \frac{f_0^2}{F_0^2}\right) \quad . \quad . \quad (24)$$

Zusammenfassung der Widerstände.

Der Gesammtwiderstand der in den Zügen und Canälen der Feuerungsanlage auftritt, ist

$$p_2 = 0{,}024 \left(\frac{L'}{D'} \times \frac{(v_2')^2}{2g} \gamma' + \frac{L''}{D''} \times \frac{(v_2'')^2}{2g} \gamma'' + \frac{L'''}{D'''} \times \frac{(v_2''')^2}{2g} \gamma''' + \right.$$

$$\left. \ldots\ldots + \frac{L^{(n)'}}{D^{(n)'}} \times \frac{(v_2^{(n)'})^2}{2g} \times \gamma^{(n)'}\right) + (\sin \beta')^2 \times \frac{(v_3')^2}{2g} \gamma_3' +$$

$$+ (\sin \beta'')^2 \times \frac{(v_3'')^2}{2g} \times \gamma_3'' + (\sin \beta''')^2 \times \frac{(v_3''')^2}{2g} \times \gamma_3''' +$$

$$\ldots + (\sin \beta^{(n)'})^2 \times \frac{(v_3^{(n)'})^2}{2g} \times \gamma_4^{n'} + \left(\varphi' - \left(\frac{f'}{F'}\right)^2 + 1\right) \times \frac{(v_4')^2}{2g} \gamma_4'$$

$$+ \left(\varphi'' - \left(\frac{f''}{F''}\right)^2 + 1\right) \times \frac{(v_4'')^2}{2g} \times \gamma_4'' + \ldots$$

$$\ldots\ldots + \left(\varphi^{n'} - \left(\frac{f^{n'}}{F^{n'}}\right)^2 + 1\right) \times \frac{(v_4^{n'})^2}{2g} \times \gamma_4^{n'}$$

wenn L', L'', L''', ... $L^{n'}$ die einzelnen Längen der Canalstücke D', D'', D''', ... $D^{n'}$ die einzelnen lichten Weiten derselben, v_2', v_2'', v_2''', ... $v_2^{n'}$ die darin herrschenden Gasgeschwindigkeiten und γ', γ'', γ''' .... $\gamma^{n'}$ die specifischen Gewichte der Gase in den einzelnen Canalstücken bezeichnen; wenn ferner β', β'', β''' ... $\beta^{n'}$ die Winkel sind, um welche die Gase im Verlaufe ihrer Bewegung sich umbiegen, sowie v_3', v_3'', v_3''', ... $v_3^{n'}$ und γ_3', γ_3'', γ_3''', ... $\gamma_3^{n'}$ die Geschwindigkeiten und specifischen Gewichte der Gase an den einzelnen Umbiegungsstellen bezeichnen, und wenn endlich

$$\varphi', \frac{f'}{F'}, v_4', \gamma_4'; \varphi'', \frac{f''}{F''}, v_4'', \gamma_4''; \varphi''', \frac{f'''}{F'''}, v_4''', \gamma_4''';$$

$$\ldots \varphi^{n'}, \frac{f^{n'}}{F^{n'}}, v_4^{n'}, \gamma_4^{n'}$$

die den einzelnen Querschnittsverengungen entsprechenden Grössen von φ, $\frac{f_0}{F_0}$, v_4 und γ_4 (vergl. Formel 24) sind.

Für den allgemeinen Ueberblick ist ein so langer Ausdruck für den Gesammtwiderstand, bezw. für den zu dessen Ueberwindung nöthigen Ueberdruck nicht geeignet; dieser Ausdruck ist aber auch entbehrlich, weil man in der Praxis immer mit einer gewissen Sicherheit rechnen muss, welche bei Einführung mittlerer Werthe gerade so gut gewährt wird, wie bei der Einführung der genau an jeder Einzelstelle zutreffenden Werthe.

Versteht man nun unter $\left(\frac{L}{D}\right)$ die Summe aller einzelnen Canallängen jeweils dividirt durch die darin bestehenden lichten Canalweiten, welche Summe man natürlich für jede Anlage besonders ermitteln muss; versteht man ferner unter v_m die Summe $\frac{L' \times v_2' + L'' v_2'' + L''' \times v_2''' + \ldots + L^{n'} \times v_2^{n'}}{L}$ und unter γ_m das arithmetische Mittel aus dem anfänglichen specifischen Gewicht der Gase und dem specifischen Gewicht derselben an der Ausmündung ins Freie, also

$$\gamma_m = \frac{\gamma + \gamma_a}{2}$$

wenn γ das specifische Gewicht der Gase an heissester Stelle und γ_a das specifische Gewicht der Gase an der Entweichungsstelle ist; versteht man ferner unter β_m das arithmetische Mittel aus allen vorkommenden Umbiegungswinkeln und endlich unter $\left(\varphi - \left(\frac{f_0}{F_0}\right)^2\right)$ einen schätzungsweise anzunehmenden Mittelwerth für die verschiedenen Stellen, an welchen Querschnittsverengungen vorkommen, so kann man auch schreiben:

$$p_2 = 0{,}024 \times \frac{L}{D} \times \frac{v_m^2}{2g} \times \gamma_m + a \times (\sin \beta_m)^2 \times \frac{v_m^2}{2g} \times \gamma_m + b \times \left(\varphi - \left(\frac{f_0}{F_0}\right)^2 + 1\right) \times \frac{v_m^2}{2g} \times \gamma_m$$

oder auch

$$p_2 = \left[0{,}024 \times \frac{L}{D} + a \times (\sin \beta_m)^2 + b \times \left(\varphi - \left(\frac{f_0}{F_0}\right)^2 + 1\right)\right] \times \frac{v_m{}^2}{2\,g} \times \gamma_m$$

wobei a die Anzahl der in der Feuerungsanlage vorkommenden Umbiegungen und b die Anzahl der in derselben vorkommenden Querschnittsverengungen bezeichnet.

Praktische Rechnung: Wenn in einer Feuerungsanlage nur Umbiegungen im rechten Winkel vorkommen, wie es zumeist der Fall zu sein pflegt, so wird man natürlich aus den auf Seite 148 erwähnten Gründen für möglichst allmählichen Uebergang sorgen, aber dennoch für die Berechnung des Gesammtwiderstandes $\beta_m = 90^0$ setzen. Ebenso wird man nach Maassgabe der Erörterungen auf Seite 150 u. 151 für die zweckmässigste Art des Uebergangs aus weiten Canälen in engere sorgen, aber der Sicherheit halber für die Berechnung des Gesammtwiderstandes, den grössten Werth von φ nach der auf Seite 149 angeführten Tabelle, nämlich 0,47 für $\frac{f_0}{F_0} = 0{,}36$ in Rechnung einführen, dabei ist dann

$$\varphi - \left(\frac{f_0}{F_0}\right)^2 + 1 = 0{,}47 - (0{,}36)^2 + 1 = 1{,}34$$

und man erhält somit vereinfacht und für die Praxis sehr gut brauchbar:

$$p_2 = \left(0{,}024 \times \frac{L}{D} + a + 1{,}34 \times b\right) \times \frac{v_m{}^2}{2\,g} \times \gamma_m \qquad (25)$$

Es ist hiernach die Eckenzahl a unmittelbar numerisch maassgebend, während die Anzahl b der Uebergangsstellen weiter Räume in engere, in ihrer nachtheiligen Wirkung auf 34 Prozent höher anzuschlagen ist.

Was den Einfluss des Reibungswiderstandes betrifft, der bei quadratischem und kreisrundem Querschnitt der Canäle von dem Verhältniss $\frac{L}{D}$ abhängt, so ist zu bemerken, dass dieses Verhältniss in der Regel bei Dampfkesselanlagen am grössten und auch hier sehr oft nicht grösser als *50 ist,* in welchem Falle der ganze Reibungswider-

stand nicht ganz so grossen Einfluss ausübt, als ein einziger Uebergang eines weiten Canals in einen engen; denn der Reibungswiderstand ist in solchem Falle:

$$p_r = 0{,}024 \times 50 \times \frac{v_m^2}{2g} \times \gamma_m = 1{,}2 \frac{v_m^2}{2g} \times \gamma_m$$

während der von einer Uebergangsstelle der genannten Art herrührende Widerstand

$$p_c = 1{,}34 \frac{v_m^2}{2g} \times \gamma_m$$

Diesem Umstand ist es zuzuschreiben, dass sehr viele Construkteure in der Herstellung allmählicher Uebergänge des weiteren Querschnitts in den engeren einen grossen Werth erkennen wollen, der jedoch, wie vorstehend (vergl. S. 151) bemerkt wurde, in dieser Maassnahme **nicht** zu erblicken ist. Der grösste Theil des Widerstandes, den der Uebergang eines weiten Querschnitts in einen engeren verursacht, beruht in der Geschwindigkeitserhöhung, die solcher Uebergang bedingt und diese Geschwindigkeitserhöhung kann durch allmählichen Uebergang nicht vermieden werden, wohl aber kann durch ungeeigneten **allmählichen** Uebergang der Contraktionswiderstand unter Umständen erhöht werden.

Addirt man nun den in den Zügen und Canälen der Feuerungsanlage auftretenden Widerstand zu dem den Feuergasen von der Brennmaterialaufhäufung entgegengesetzten Widerstand, so erhält man in der Summe den Gesammtwiderstand vieler Feuerungsanlagen. Nach Formel (18 b, Seite 132) und Formel (25) erhält man dafür:

$$p = p_1' + p_2 = 1{,}274 \times \left(m_0 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{L_u^2}{\gamma \times F^2} +$$

$$+ \left(0{,}024 \times \frac{L}{D} + a + 1{,}34 \times b\right) \times \frac{v_m^2}{2g} \gamma_m$$

Wenn L_u die gesammte Luftmenge ist, welche in die Feuerungsanlage eingeführt wird, wenn also oberhalb des

Brennmaterials eine sekundäre Lufteinführung nicht erfolgt, dann kann man die Geschwindigkeit v_m auch durch L_u ausdrücken; indessen soll der Allgemeinheit wegen angenommen werden, es finde sekundäre Lufteinführung statt und dieselbe umfasse die Luftgewichtsmenge L_u'.

In diesem Falle ist

$$L_u + L_u' = F_m \times v_m \times \gamma_m$$

wenn F_m die mittlere Querschnittsfläche der Züge und Canäle der Verbrennungsgase bezeichnet; demnach ist

$$v_m^2 = \frac{(L_u + L_u')^2}{\gamma_m^2 \times F_m^2}$$

und da $\frac{1}{2g} = 0{,}051$, so erhält man

$$p = 1{,}274 \times \left(m_0 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{L_u^2}{\gamma \times F^2} +$$

$$0{,}051 \times \left(0{,}024 \times \frac{L}{D} + a + 1{,}34 \times b\right) \times \frac{(L_u + L_u')^2}{\gamma_m \times F_m^2}. \quad (26)$$

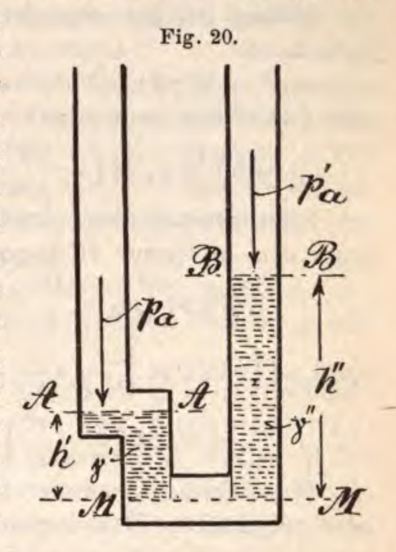
Wie aus Formel (26) ersichtlich, sind die Summanden des in der Feuerungsanlage entstehenden Widerstandes oder, was dasselbe ist, die Summanden des zur Ueberwindung des Gesammtwiderstandes erforderlichen Ueberdruckes dem Quadrate des Gewichtes der Verbrennungsluft direkt und den specifischen Gewichten γ und γ_m derselben umgekehrt proportional. Daraus folgt, dass zur Beschaffung einer bestimmten Luftgewichtsmenge ein bestimmter Ueberdruck erforderlich ist und dass, wenn dieser Ueberdruck an die einströmende Luft selbst gebunden ist, jene bestimmte Luftgewichtsmenge auch wirklich einströmen wird.

Es frägt sich nun in welcher Weise man die diesem Erkenntniss entsprechende Aufgabe jeweils zu lösen im Stande ist. Kann sie in der eingangs dieser Betrachtungen erwähnten Art durch Veränderung des Gleichgewichtzustandes der atmo- ·härischen Luft auf dem Wege der Temperaturänderung ge- werden, so müssen sich auch die nöthigen Vorbedingungen lgemeinen Gleichgewichtsgesetzen ableiten lassen. In t giebt das Naturgesetz der Druckausgleichung in

communicirenden Röhren ohne Weiteres den nöthigen Aufschluss.

Denkt man sich ein senkrecht stehendes Röhrensystem von der in Fig. 20 schematisch skizzirten Art. Bei demselben bezeichne AA die Niveauhöhe, in welcher die Luft in die Feuerung einströmt. Darüber befindet sich eine Luftsäule, deren specifischer Flächendruck bei A mit p_a bezeichnet sei. Von dem Niveau AA aus mögen die Feuergase vielleicht noch bis zu einem tieferen Niveau MM hinabströmen, welches um die Höhe h' unter dem ersteren liegt; das specifische Gewicht der Feuergase auf dem Wege von AA zu MM möge im Mittel γ' sein. In dem zweiten aufwärts ragenden Schenkel der communicirenden Röhren befinde sich eine Feuergas- bezw. Verbrennungsgasschichte von der Höhe h'' und dem mittleren specifischen Gewichte γ'', während bei dem Niveau BB die Ausströmungsstelle der Verbrennungsgase liege, auf welche die freie atmosphärische Luft einen specifischen Flächendruck von der Grösse p_a' ausübt.

Fig. 20.



Würde die atmosphärische Luft im tiefsten Niveau MM anstatt in dem Niveau AA in die Feuerung einströmen, so würde sie auf die Feuergase einen specifischen Flächendruck von der Grösse

$$P = p_a + h' \times \gamma_a$$

ausüben, wenn γ_a das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft in der Nähe der Feuerungsanlage ist.

Mithin wirkt in dem linken gekröpften Schenkel der communicirenden Röhren ein specifischer Druck von der Grösse

$$P - h' \times \gamma_a + h' \times \gamma',$$

während diesem Druck entgegen in dem anderen senkrechten Schenkel der communicirenden Röhren ein Druck

$$P - h'' \times \gamma_a + h'' \times \gamma''$$

lastet.

Mithin ist der von der Atmosphäre selbst ausgeübte Ueberdruck

$$p = P - h' \times \gamma_a + h' \gamma' - (P - h'' \times \gamma_a + h'' \times \gamma'')$$

oder rechnerisch umgeformt:

$$p = h'' \times \gamma_a \times \left(1 - \frac{\gamma''}{\gamma_a}\right) - h' \times \gamma_a \times \left(1 - \frac{\gamma'}{\gamma_a}\right) \quad (27)$$

Setzt man nun diesen Ausdruck für den specifischen Ueberdruck dem in Formel 26 angegebenen gleich, so erhält man

$$1{,}274 \times \left(m_0 \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{L_u^2}{\gamma_a \times \gamma \times F^2} +$$

$$0{,}051 \times \left(0{,}024 \times \frac{L}{D} + a + 1{,}34 \times b\right) \times \frac{(L_u + L_u')^2}{\gamma_a \times \gamma_m \times F_m^2}$$

$$= h'' \times \left(1 - \frac{\gamma''}{\gamma_a}\right) - h' \times \left(1 - \frac{\gamma'}{\gamma_a}\right) \quad . \quad . \quad (I)$$

Diese Formel kann zur Beurtheilung einer ausgeführten oder projektirten Feuerungsanlage verwendet werden, wenn man in dieselbe für sehr gleichmässige Brennmaterialstücke in sorgfältig geebneter Schüttung $m_0 = 2$ und für ungleichmässige Brennmaterialstücke $m_0 = 2{,}5$ bis $3{,}0$; ferner für H die Höhe der Brennmaterialschüttung, für d die mittlere Dicke der Brennmaterialstücke, für F die lichte Querschnittsfläche des Brennmaterialschüttungsraumes oder die totale Planrostfläche, für γ das mittlere specifische Gewicht der Feuergase innerhalb der Brennmaterialaufhäufung, für L_u diejenige Verbrennungsluftgewichtsmenge, welche durch die Brennmaterialaufhäufung hindurchströmen soll und für L_u' die sekundär in den Feuerraum einzuführende Luftgewichtsmenge einsetzt, wobei für $L_u + L_u'$ die um 20 bis 30 Prozent erhöhte theoretische Verbrennungsluftmenge zu setzen ist. Ferner hat man in der Formel I für $\frac{L}{D}$ die Summe aller einzelnen Canallängen einzeln durch die zugehörigen lichten *Canalweiten* dividirt, für a die Anzahl der in der Feuerungs-

anlage vorkommenden (rechtwinkligen) Ecken, um welche die Feuer- bezw. Verbrennungsgase in den Zügen und Canälen etc. umbiegen, für b die Anzahl der vorkommenden Querschnittsverengungen, für F_m die mittlere Querschnittsfläche der Züge und Canäle und für γ_m das mittlere specifische Gewicht der Verbrennungsgase in denselben zu setzen.

Ferner ist für h' die Summe aller abwärtsgehenden Feuerzüge, für γ' das mittlere specifische Gewicht der darin vorhandenen Feuergase, für h'' die Summe aller aufwärtsgehenden Feuerzüge (insbesondere die Schornsteinhöhe) und für γ'' das mittlere specifische Gewicht der darin vorhandenen Gase zu setzen.

Endlich ist für γ_a das mittlere örtliche specifische Gewicht der äusseren atmosphärischen Luft in Rechnung einzuführen.

Was das specifische Gewicht der Luft und der Feuergase, beziehungsweise der Verbrennungsgase, betrifft, so wurde schon dargelegt, in welcher Weise dasselbe für verschiedene Temperaturen und Pressungen berechenbar ist, sobald man das einer bestimmten Temperatur und Pressung entsprechende specifische Gewicht kennt.

Hat man es mit gutem Brennmaterial zu thun, welches nicht mehr als 10 Gewichtsprozent Wasser enthält, so findet man, dass bei vortheilhaftester vollständiger Verbrennung eines solchen das specifische Gewicht der Verbrennungsgase bis zu 6 Prozent mehr beträgt als das specifische Gewicht gleichhochtemperirter Luft, während das specifische Gewicht der Verbrennungsgase von sehr geringen Brennmaterialien, die bis zu 50 Prozent Wasser enthalten, bei möglichst vortheilhafter Verbrennung bis zu 13 Prozent weniger beträgt als das specifische Gewicht gleichhoch temperirter Luft.

Wird dies jeweils beachtet, so kann man die in Rechnung zu bringenden Werthe von γ annähernd wählen, wenn man die den gleichen Temperaturen entsprechenden specifischen Gewichte atmosphärischer Luft kennt. Diese aber sind in der folgenden Tabelle XII für die hauptsächlichsten Temperaturen angegeben.

Tabelle XII.

Specifische Gewichte (γ) atmosphärischer Luft bei t° C.	Kgr.	Specifische Gewichte (γ) atmosphärischer Luft bei t° C.	Kgr.	Specifische Gewichte (γ) atmosphärischer Luft bei t° C.	Kgr.
0	1,2932	100	0,9460	1000	0,2772
5	1,2700	200	0,7461	1100	0,2570
10	1,2474	300	0,6160	1200	0,2395
15	1,2260	400	0,5244	1300	0,2243
20	1,2049	500	0,4565	1400	0,2109
25	1,1846	600	0,4043	1500	0,1990
30	1,1650	700	0,3622	1600	0,1884
40	1,1280	800	0,3289		
50	1,0930	900	0,3008		

Für die in Rechnung einzuführenden Werthe von γ_a, welche ja der äusseren atmosphärischen Luft entsprechen, kann man natürlich die bezüglichen Angaben der vorstehenden Tabelle ohne Weiteres benutzen.

Um aus der Hauptformel I Folgerungen ziehen zu können, ist es zumeist erwünscht, ihr eine etwas andere Form zu geben.

In erster Linie mag es sich unter Umständen für Rostfeuerungsanlagen empfehlen, anstatt des ganzen Querschnitts der Brennmaterialfüllung den in einer Schichte des Brennmaterials für die Gasströmung frei bleibenden Raum*) in die Betrachtung einzuführen, da bei der Entwickelung des Widerstandes angenommen wurde, dass der freie Raum der Rostfläche ebenso gross sei als die freie Durchgangsfläche einer Brennmaterialschichte und diese Annahme auch für die Wahl der freien Planrostfläche gerechtfertigt ist**), wenn für Freihalten so grosser Durchgangsfläche des Rostes hinreichend gesorgt wird. Man könnte demgemäss in der Formel (I) F durch $\nu \times$ f ersetzen, wenn f die sicher freibleibende Rostfläche und ν das Verhältniss des freien Durchgangsquerschnitts einer [Bre]nnmaterialschichte zum ganzen Schichtenquerschnitt be[zeich]net, welches der früheren Annahme gemäss im Allge-

---

*) [V]ergl. S. 131.

**) [S]iehe später „Wahl der Planrostfläche“.

$$\nu = \frac{1}{0{,}2} = 5.$$

In zweiter Linie sind die Verhältnisse $\frac{\gamma''}{\gamma_a}$ und $\frac{\gamma'}{\gamma_a}$ durch die den specifischen Gewichten entsprechenden Temperaturen und Pressungen auszudrücken. Dabei empfiehlt es sich, diese letzteren für allgemeine Betrachtungen einfach dem atmosphärischen Druck gleich zu setzen und demnach*)

$$\frac{\gamma''}{\gamma_a} \text{ durch } \frac{1 + \alpha . t_a}{1 + \alpha . t''} \text{ und } \frac{\gamma'}{\gamma_a} \text{ durch } \frac{1 + \alpha . t_a}{1 + \alpha . t'}$$

zu ersetzen, wobei $\alpha = 0{,}003665$.

Endlich kann man auch noch die mittlere Querschnittsfläche F_m der Feuerzüge und Canäle zu der freien Durchgangsfläche f in Beziehung bringen und

$$F_m = \mu \times f$$

setzen, wenn μ das Verhältniss des besagten mittleren Querschnitts zu der erwähnten freien Durchgangsfläche oder zu der sicher freibleibenden Fläche des Rostes bezeichnet. Für allgemeine Betrachtungen empfiehlt es sich indessen mehr die mittlere Querschnittsfläche F_m allein in der Formel zu haben. Beachtet man dies, so ergeben die angeführten Ersatzausdrücke die Möglichkeit, die Formel I durch rechnerische Umformung überzuführen in:

$$1{,}274 \times \frac{\mu^2}{\nu^2} \times \left(m \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \frac{L_u^2}{\gamma_a \times \gamma} +$$
$$+ 0{,}051 \times \left(0{,}024 \times \frac{L}{D} + a + 1{,}34 \times b\right) \times \frac{(L_u + L_u')^2}{\gamma_a \times \gamma_m} =$$
$$= \alpha \times F_m^2 \times \left[\frac{h'' \times (t'' - t_a)}{1 + \alpha t''} - \frac{h' \times (t' - t_a)}{1 + \alpha t'}\right] . \quad \text{(Ia)}$$

Man erkennt hieraus, dass die in eine Feuerungsanlage frei einströmende Luftgewichtsmenge (hinreichende Grösse der frei bleibenden Rostfläche vorausgesetzt) wesentlich von der Grösse des mittleren Querschnittes aller Feuer- und Verbrennungsgas-Züge und Canäle abhängt und im Uebrigen um so grösser ist, je grösser die

*) Vergl. S. 135.

Höhensumme aller ansteigenden Canäle (d. i. h'') und die Temperatur (t'') der darin befindlichen Verbrennungsgase ist, dass sie dagegen durch den Einfluss abwärtsführender Canäle (deren Höhensumme h' ist) vermindert wird und zwar um so mehr, je höher die mittlere Temperatur t' in diesen letzteren Canälen ist und dass sie endlich wächst, wenn die Temperatur t_a der äusseren atmosphärischen Luft abnimmt.

Ist der vorhandene Abzugskamin im Verhältniss zu allen anderen Canälen der Feuer- und Verbrennungsgase von grosser Länge (Höhe), so kommt natürlich dessen lichter Querschnitt mehr in Betracht als das Mittel aus den lichten Querschnitten der übrigen Canäle und man kann, selbst wenn diese etwas eng sind, durch einen weiten Kamin eine weit bessere Zugwirkung erzielen als durch einen sehr viel höheren engen Kamin, welcher letztere auch einen grösseren Wärmeverlust bedingt, weil die Verbrennungsgase in ihm eine wesentlich grössere Abkühlung erleiden und ihm daher (zwecks Erhaltung einer bestimmten Mitteltemperatur in ihm) mit höherer Temperatur (aus dem nutzwirksamen Theil der Feuerungsanlage) zuströmen müssen, als wenn der Kamin weiter und niedriger ist.

Sind die Feuerzüge weit, so kann man mit einem verhältnissmässig niedrigen (nicht zu engen) Kamin einen besseren Zug erzielen als im Falle des Vorliegens enger Feuerzüge mit einem höheren Kamin.

Da der Werth des zweiten Summanden im Klammerausdruck rechts vom Gleichheitszeichen der Formel Ia wesentlich von der Temperaturhöhe t' abhängt, so erkennt man aus dieser Formel, dass es für den Luftzug vortheilhafter ist, wenn man die Verbrennungsgase **erst dann,** wenn sie aus dem nutzwirksamen Theil der Feuerungsanlage **abziehen,** abwärts strömen lässt, um sie etwa in einen unvermeidlich tief anzulegenden Fuchs gelangen zu lassen, als wenn man sie von vorn herein oder nach dem Durchstreichen eines ersten Feuerzuges einem tiefer

gelegenen zweiten Feuerzuge zu abwärts strömen lässt. Natürlich wird die erforderliche Kaminhöhe am kleinsten, wenn man die Luft an tiefster Stelle in die Feuerungsanlage einströmen und die Feuer- und Verbrennungsgase fortwährend nur aufwärts strömen lässt; doch kann der Einfluss eines geringen abwärts gerichteten Zuges leicht ausgeglichen werden durch etwas grössere Weite der übrigen Züge und des Kamins.

Vielfach wird aber gerade die Wahl recht enger Feuerzüge und eines möglichst engen Kamins beliebt, worin sehr häufig kein Vortheil, wohl aber nicht selten ein Nachtheil zu erblicken ist. Vortheil gewähren enge Feuerzüge nur dann, wenn die Nothwendigkeit der Wärmeabgabe der Feuergase in einem einzigen möglichst kurzen Zuge vorliegt und dieselben, bevor sie in diesen Zug einströmen, schon vollständig verbrannt sind, während in jedem anderen Falle weite Feuerzüge, welche eine gleichmässigere Wärmeabgabe der Gase und nöthigenfalls auch noch deren Verbrennung gewähren, vortheilhafter sind. Ein enger Kamin aber ist nur da zu empfehlen, wo **Gegenströmungen** oder das Einströmen kalter Luft vorkommen können, oder wo bauliche Verhältnisse für engere Kamine maassgebend sind, oder endlich wo weite Kamine äusserlich abkühlenden Einflüssen mehr ausgesetzt werden müssten als enge; in allen anderen Fällen dagegen ist die Wahl möglichst enger Kamine **nicht** zweckmässig und, wo eine bestimmte Minimalhöhe aus örtlichen Verhältnissen nicht vorgeschrieben ist, geradezu fehlerhaft, weil sie eine weit grössere Kaminhöhe, als sonst nöthig, bedingt.

Die Wahl der lichten Weite eines Kamins ist hiernach keine allgemein beschränkte, sondern eine durchaus freie, in soweit nicht eine aus örtlichen Gründen vorgeschriebene Minimalhöhe (h'') es zweckmässig erscheinen lässt, sich auf die dafür aus der Formel (Ia) zu ermittelnde Weite zu be-

schränken, sofern nicht später etwa noch andere Feuerungsanlagen an denselben Kamin anzuschliessen sind, welche eine grössere Kaminweite empfehlenswerth oder nothwendig machen.

Nach v. Reiche wählt man als kleinst zulässigen lichten Querschnitt des Kamins die Grösse der sogen. freien Planrostfläche, d. i. die bei dem unbenutzten neuen Planrost freie Durchgangsfläche desselben, welche jedoch nie vollständig frei bleibt. Diese Wahl ist schwer zu begründen (da die aus dem Kamin entweichenden Gase weniger hoch temperirt sind und daher einen geringeren Raum einnehmen als die durch die Brennmaterialmasse strömenden Gase) und ist ausserdem auch völlig unbestimmt, so lange nicht bestimmt ist, wie gross die Flächenausdehnung einer Brennmaterialschichte oder die totale Planrostfläche sein muss und ob alle Verbrennungsluft durch den Rost oder die Brennmaterialaufhäufung hindurchströmt oder auch noch Luft in den Feuerraum direkt einströmen soll.

Ueber diese Verhältnisse sind noch eingehende Betrachtungen nöthig; es sei zunächst nur bemerkt, dass, wenn man nach v. Reiche den kleinsten lichten Querschnitt des Kamins gewählt hat, man gut thun wird, durch Einsetzen des entsprechenden Werthes von F_m in die Formel (Ia) zu prüfen, inwieweit die Annahme gerechtfertigt war.

Sind abwärts gerichtete Züge in der Feuerungsanlage nicht vorhanden, also $h' = o$ und ist die mittlere Querschnittsfläche aller Feuerzüge und Canäle der Verbrennungsgase dem Kaminquerschnitt gleich und ausserdem auch der lichten Durchgangsfläche einer Brennmaterialschichte oder der wirklich freien Fläche eines vorhandenen Planrostes gleich, d. i. $\mu = \nu$ und ist endlich auch die sekundäre Luftgewichtsmenge $L_u' = o$, so lässt sich die Formel (Ia) auch in die Form bringen:

$$L_u = 0{,}0605 \,.\, F_m \,.\, \sqrt{\frac{\gamma_a \times \gamma \times \gamma_m \times h'' \times \dfrac{t'' - t_a}{1 + 0{,}003665\, t''}}{1{,}274 \,.\, \gamma_m \times \left(m \times \dfrac{H}{d} + 1\right) + 0{,}051 \,.\, \gamma \times \left(0{,}024 \,.\, \dfrac{L}{D} + a + 1{,}34 \,.\, b\right)}} \quad \ldots\ldots\ (Ib)$$

Ist das mittlere specifische Gewicht (γ_m) der Feuergase und Verbrennungsgase in den Feuerzügen und Canälen etc. *nur wenig verschieden von dem mittleren specifischen Gewichte* (γ) der die Brennmaterialaufhäufung durchströmenden Feuergase, so dass man die Faktoren γ_m und γ im Nenner des vorstehenden Ausdrucks gegen den Faktor γ im Zähler dieses Ausdrucks streichen kann, *und nimmt man zugleich an, dass die mittlere Temperatur* t'' *im Kamin nur wenig verschieden ist von der dem mittleren specifischen Gewichte* (γ_m) *entsprechenden Gastemperatur*, so dass man

$$\gamma_m = \frac{1{,}2932}{1 + 0{,}003665\, t''}$$

setzen kann, so erhält man, unter Berücksichtigung, dass $\gamma_a = \frac{1{,}2932}{1 + 0{,}003665\, t_a}$, den Ausdruck (Ib) auch in der Form:

$$L_u = 0{,}0782 \,.\, F_m \,.\, \sqrt{\frac{h'' \times \dfrac{t'' - t_a}{(1 + 0{,}003665\, t_a) \times (1 + 0{,}003665\, t'')^2}}{1{,}274 \,.\, \left(m \times \dfrac{H}{d} + 1\right) + 0{,}051 \,.\, \left(0{,}024 \,.\, \dfrac{L}{D} + a + 1{,}34 \,.\, b\right)}} \quad \ldots\ldots \text{(Ic)}$$

welcher Ausdruck, wie man mit Hilfe höheren Calculs bestimmen und durch Proberechnung auch bestätigt finden kann, einen *Maximalwerth* annimmt, wenn

$$t'' = 273^0 + 2 \times t_a.$$

Demnach würde *unter den gemachten Voraussetzungen* ein Kamin von bestehenden Dimensionen und unter sonst gleichen Verhältnissen der Feuerungsanlage, am besten ziehen, wenn die Temperatur der Verbrennungsgase im Kamin um 273^0 C. höher ist als die mit 2 multiplicirte Temperatur der Aussenluft.

Dieses durch die Erfahrung bestätigte Ergebniss rechnerischer Untersuchung ist mit Vorsicht aufzunehmen; denn einerseits ist es, wie der vorstehende Untersuchungsgang lehrt, nur unter Verhältnissen zutreffend, wie sie bei *sehr hoher Kamintemperatur*

annähernd vorliegen und andererseits entspricht eine Rauchgastemperatur von mehr als 273° C. einem so grossen Wärmeeffektverlust, dass man sich scheuen muss, sie als empfehlenswerth zu bezeichnen. Die einzige praktische Lehre, welche man aus der Ermittelung der für den Kaminzug günstigsten Temperatur ziehen kann, ist die, *dass man durch Erhöhung der Temperatur im Kamin über* ($273 + 2\ t_a$) *Grad Cels. hinaus eine Zugverbesserung nicht erzielen kann* und dass man für Neuanlagen auf eine maximale Zugwirkung nicht reflektiren soll, weil eine solche einen zu grossen Wärmeeffektverlust bedingt.

Die Wahl des Querschnittes der Brennmaterialschichtung oder diejenige der totalen Fläche eines das Brennmaterial tragenden Planrostes ist, wie schon angedeutet wurde, dem freien Ermessen des Construkteurs anheimgegeben. In der That findet man auch diesbezüglich ganz bedeutende Verschiedenheiten und zwar zumeist 0,002 bis 0,025 qm Planrostfläche für *ein* stündlich zu verbrennendes Kilogramm Brennmaterial.

Aus den früher angestellten Betrachtungen (vergl. S. 138 und 139) ist zu entnehmen, dass ein enger Füllraum an und für sich einen besseren Wärmeeffekt des Brennmaterials in Aussicht stellt als ein weiter, während aus den über die Widerstände angestellten Betrachtungen hervorgeht, dass ein weiter Füllraum geringeren Widerstand gegen die Feuergasbewegung ergiebt (unter sonst gleichen Verhältnissen also einen besseren Zug gewährt) als ein enger, und endlich ist zu beachten, dass ein enger Füllraum eine höhere Aufschüttung des frischen Brennmaterials bedingt und deshalb bei zeitweiser Nachschüttung eine stärkere Abkühlung der diese letztere durchdringenden Feuergase verursacht als ein weiter Füllraum.

Diese verschiedenen Gesichtspunkte lassen die grosse Verschiedenheit der Füllraumweite (oder der totalen Planrostfläche) sehr begreiflich erscheinen, da der eine Construkteur kleine und der andere Construkteur eine grosse Weite Füllraumes für nachtheilig hält und jeder unter speciellen

Verhältnissen auch Recht behält. Im Allgemeinen ergeben sich die folgenden Lehren:

1) Kann man über günstige Verhältnisse für den Luftzug disponiren und continuirliche selbstthätig wirkende Schüttungseinrichtung anordnen, so ist einer kleinen Planrostfläche bezw. einem kleinen Füllungsquerschnitt für das Brennmaterial insbesondere dann der Vorzug einzuräumen, wenn der Brennmaterialoberfläche solche Flächen nahe gegenüberliegen, welche für Wärmestrahlen sehr empfänglich sind.

2) Kann man über günstige Verhältnisse für den Luftzug disponiren und die Feuerstelle derart einrichten, dass man bequem das frische Brennmaterial seitwärts von dem stärkstglühenden aufgeben und des ersteren Destillationsgase jeweils über dem letzteren hinwegstreichen lassen kann, so ist einer kleinen oder mittelgrossen Planrostfläche, bezw. einem kleinen Füllraumquerschnitt insbesondere dann der Vorzug einzuräumen, wenn der Brennmaterialoberfläche solche Flächen nahe gegenüberliegen, welche für Wärmestrahlen sehr aufnahmefähig sind.

3) Ist die bestehende oder praktischerweise zu beschaffende Einrichtung für die Bewirkung des Luftzuges nur in beschränktem Maasse oder überhaupt nur wenig günstig, so muss man den Füllraumquerschnitt für das Brennmaterial oder die Planrostfläche um so grösser wählen, je weniger günstig jene Verhältnisse liegen und zwar für den Fall zeitweiser Bedeckung der ganzen Brennmaterialoberfläche mit frischem Brennmaterial grösser als für den Fall continuirlicher Schüttung oder stellenweiser Aufgabe zur Vorerhitzung in dem unter 2 angedeuteten Sinne. Und je grösser der Füllraumquerschnitt oder die Planrostfläche benöthigt wird, desto mehr muss man darauf bedacht sein, die Wärmeausstrahlung der Brennmaterialoberfläche an gegenüberliegende Flächen durch geeignete Mittel und Einrichtungen zu beschränken.

4) Der Füllraumquerschnitt (oder die totale Planrostfläche) ist der durch die Brennmaterialmasse hindurch zu leitenden Verbrennungsluft-Gewichtsmenge proportional und um so grösser zu wählen, je mehr das Feuergasvolumen das für gleiche Temperatur berechnete Volumen der eingeführten Luft übertrifft.

Will man den lichten Füllraumquerschnitt kleiner wählen als es hinsichtlich der Wirkungsfähigkeit der den Luftzug verursachenden Einrichtung der Feuerungsanlage zulässig erscheint, so muss man diese Wirkungsfähigkeit durch besondere Mittel unterstützen, indem man beispielweise einen Dampfstrahl in den Kamin einbläst (nöthigenfalls unter Anordnung eines besonders construirten Blasrohrs) oder indem man die nöthige Verbrennungsluft ganz oder theilweise unter höherem als atmosphärischem Druck einführt.

Soll die ganze zur Verbrennung nöthige Luftgewichtsmenge unter höherem Ueberdruck, als ihn die Zugwirkung der Feuerungsanlage selbst gewährt, durch die Brennmaterialaufschüttung hindurchgeblasen werden, so wird bei Rostfeuerung der Aschenfallraum zur Gebläselufteinführung verwendet und zu diesem Zweck nach aussen luftdicht abgeschlossen. Es geschieht dies besonders in Hüttenwerken nicht selten und die Heizer sind damit sehr zufrieden, weil ihnen damit ein sehr bequemes Mittel zur Regulirung der Lufteinführung geboten ist; den Besitzern dagegen entspringt aus dem für den Heizer bequemen Mittel in den meisten Fällen eine bedeutende Erhöhung des Kostenaufwandes für das Brennmaterial, indem der Heizer leicht geneigt ist die Feuerung durch übermässige Lufteinführung zu verstärken, wobei nicht nur ein grosser Luftüberschuss zwecklos erhitzt, sondern auch eine Menge kleiner Brennmaterialtheilchen vom Winde mitgerissen und unverbrannt theils in den Zügen und Canälen abgelagert, theils aus der Feuerungsanlage abgeführt wird.

Das Mitreissen kleiner Brennmaterialtheilchen insbesondere verbietet die Anwendung starker Pressung der durch den Aschen- [illegible]m einzuführenden Luft und bedingt überhaupt die [illegible] einer höheren Geschwindigkeit als 15 bis aller-

höchstens 20 Meter für die Durchströmung der Brennmaterialaufhäufung seitens der Feuergase. Werden Geschwindigkeiten von mehr als 15 m nothwendig, so muss immer ein Ort vorgesehen sein, in welchem sich die Geschwindigkeit der Feuergase so bedeutend vermindert, dass sich dort die Verbrennung der von ihnen mitgerissenen Brennstofftheilchen mit Sicherheit vollziehen kann. Ist ein solcher Ort innerhalb der nutzbaren Feuerungsanlage nicht vorhanden, so dürfen die Feuergase jedenfalls nie mit mehr als 15 m Geschwindigkeit aus der letzten Brennmaterialschichte in den freien Verbrennungsraum einströmen.

Sonach ergiebt sich denn die kleinste überhaupt zulässige Querschnittsfläche des Brennmaterialschüttraumes oder die höchstens durch die Brennmaterialaufhäufung hindurch sekundlich einzuführende Luftgewichtsmenge durch Rechnung, indem man nur zu beachten hat, dass

$$L_u = \frac{F}{\nu} \times \gamma \times v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

wenn L_u diese Luftgewichtsmenge, γ*) deren specifisches Gewicht in der Brennmaterialaufhäufung, F deren Raumquerschnitt, ν des letzteren Verhältniss zur freien Durchgangsfläche und v die Geschwindigkeit der Luft bezw. der Feuergase bei der Temperatur bezeichnet, welcher das specifische Gewicht γ entspricht.

Nach der früheren Annahme $\nu = \frac{1}{0,2} = 5$**) erhält man, bei einer Temperatur von 1000° Cels. im Schüttraume als höchstens zulässige Luftgewichtsmenge L_u

$$L_u = \frac{15 \times 0,2772}{5} \times F = 0,8316 \times F \text{ bis } \frac{20 \times 0,2772}{5} \times F = 1,11 \times F$$

oder als kleinsten zulässigen Querschnitt des Brennmaterialschüttraumes, durch welchen diese Luftgewichtsmenge L_u eingeführt werden soll:

$$F = 1,202 \times L_u \text{ bis } 0,9018 \times L_u$$

---

*) Vergl. Tabelle XII auf S. 160.

**) Vergl. S. 124.

Soll also beispielsweise Koks bei Lufteinführung durch die Brennmaterialmasse hindurch vollständig verbrannt werden, so muss die sekundliche Luftgewichtsmenge L_u pro Kgr. Koks etwa $\frac{13}{3600} = 0{,}003611$ Kgr. betragen und es ist sonach hierzu **mindestens** ein Schüttraumquerschnitt von

$$F = 0{,}00326 \text{ qm bis } 0{,}00434 \text{ qm}$$

erforderlich, wenn die Temperatur der höchsten Koksschichte 1000° C. betragen soll. Würde die Temperatur dieser Schichte dagegen nur 100° C. betragen, so würde die Rostfläche pro Kgr. Koks nur $\frac{0{,}2772}{0{,}9460} \times F$, d. i. 0,000955 bis 0,00127 qm zu betragen brauchen.

Die Formel (28) bietet also die Möglichkeit, die geeignete Grösse des Raumquerschnittes der Brennmaterialaufschüttung oder auch der totalen Planrostfläche zu ermitteln, wenn man für v die zulässige Geschwindigkeit in Rechnung einführt, und umgekehrt lässt sich mit Hilfe dieser Formel auch berechnen, welche Luftgewichtsmenge man unter gegebenen Verhältnissen durch die Brennmaterialaufhäufung hindurch in den Feuerraum einführen kann und welche Luftgewichtsmenge demnach noch als **sekundäre Luftmenge** L_u' in diesen Feuerraum über der Brennmaterialaufschüttung eingeführt werden muss, um vollständige Verbrennung des verfeuerten Brennmaterials erzielen zu können.

Was die Wahl der Geschwindigkeit v im Allgemeinen betrifft, so ist zu bemerken, dass, wie die Formel (17 a)*) lehrt, der Widerstand, den die Brennmaterialmasse dem Durchströmen der Luft und der Feuergase entgegensetzt, mit dem Quadrate der Geschwindigkeit derselben wächst und dass diese deshalb bei einfacher Zugwirkung der Feuerungsanlage (d. i. ohne gleichzeitige Anwendung künstlich erzeugten Druckes) natürlich um so kleiner gewählt werden muss, je weniger günstig die Verhältnisse im Uebrigen für die Zugwirkung sind, so dass demnach die Querschnittsfläche des Füllraumes oder

*) Siehe S. 132.

die totale Planrostfläche den vorangehend angegebenen Lehren entsprechend für die durch die Brennmaterialaufhäufung hindurch zu lassende Luftgewichtsmenge um so grösser wird.

Für die Wahl der unteren Grenze der Geschwindigkeit ist ausser den früher über den Einfluss grosser Weite des Füllraumes angestellten Betrachtungen auch noch der Umstand zu beachten, dass eine gewisse Luftgeschwindigkeit in der Brennmaterialmasse für die Entwickelung und Erhaltung des Feuers vortheilhaft ist und dass man diese vortheilhafte Geschwindigkeit nicht durch Regulirung der Zugschieberstellung oder sonstige Einrichtungen erzielen kann, sondern hierzu nothwendig einer entsprechend kleinen Querschnittsfläche des Füllraumes bedarf. In der That erscheint es nöthig, dass man zur Entwickelung und Erhaltung eines lebhaften Feuers in der Brennmaterialaufhäufung einer Geschwindigkeit der Feuergase von mindestens 2 m im Zustand der Entzündungstemperatur nicht zu schwer entzündbaren Brennmaterials, also im Zustand einer Temperatur von etwa 300° C., bedarf und dass für schwerer entzündbares Brennmaterial auch eine ihrer Entzündungstemperatur entsprechend grössere und für leichter entzündbares Brennmaterial eine entsprechend geringere Minimalgeschwindigkeit der Feuergase für den Entzündungszustand benöthigt wird, so dass man also ganz allgemein für Feuergase von 300° C. in der Brennmaterialaufhäufung einer Geschwindigkeit v = 2 m bedarf.

Führt man diesen Werth für v und zugleich das der Temperatur 300° C. entsprechende specifische Gewicht atmosphärischer Luft $\gamma = 0,616$ in die Formel (28) ein, so ergiebt dieselbe als grössten zulässigen Füllraumquerschnitt und grösste zulässige totale Fläche und des Planrostes

$$F_{max} = 0,812 \times \nu \times L_u \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (29)$$

und wenn $\nu = \frac{1}{0,2} = 5$

$$F_{max} = 4,06 \times L_u$$

Demnach ergiebt sich für Koksfeuerung als grösste zulässige Füllraumquerschnitts- und totale Plan-

rostfläche $F_{max} = 4{,}06 \times \frac{13}{3600} = 0{,}001465$ qm für je ein Kilogramm stündlich zu verbrennenden Koks.

Anstatt einen Füllraum von so grosser Weite anzuordnen, wie sie sich nach den angestellten Betrachtungen als nothwendig ergiebt, wenn man alle Verbrennungsluft durch die Brennmaterialaufhäufung hindurchströmen lässt, empfiehlt es sich, wie schon früher erwähnt (vergl. S. 69), sehr oft einen Theil der nöthigen Verbrennungsluft oberhalb des Füllraumes unmittelbar in den freien Feuerraum als sekundäre Verbrennungsluft einzuführen.

Diese kann ebenso wie die durch die Brennmaterialaufhäufung hindurchströmende Luftmenge angesaugt oder unter künstlichem Druck eingeblasen werden.

Wird beim Ansaugen der sekundären Luft diese durch kurze wagerechte Canäle oder durch aufwärtsführende warm liegende Canäle eingeführt, so braucht der Widerstand, der sich ihrer Einführung entgegensetzt, bei Bestimmung des Kamins nicht berücksichtigt zu werden, da er im ersteren Falle überhaupt belanglos und im letzteren Falle vermöge der saugenden Wirkung der aufwärtsführenden Canäle selbst überwunden wird. Je heisser die aufwärtsführenden Canäle sind, desto weiter wird die Luft in ihnen vorgewärmt und mit desto grösserer Geschwindigkeit strömt dieselbe in den Feuerraum ein, was beides um so vortheilhafter für die Mischung dieser Luft mit den Feuergasen ist und um so nothwendiger wird, je grösser die Gewichtsmenge dieser Luft im Verhältniss zu derjenigen der uergase ist.

Sind z aufwärtsführende Canäle quadratischen oder kreisnden Querschnitts von der Weite d_0 und dem Gesammtrschnitt f_0' angeordnet, ist die Höhe derselben h_0 und die lere Temperatur in ihnen $t_0{}^0$ C. und besitzt jeder dieser ile n_0' rechtwinklige Umbiegungen und eine Länge l_0, ist die Luftgewichtsmenge, deren Einströmung sie vermöge Temperatur selbst veranlassen, in Analogie mit der l (Ic) ausdrückbar durch

$$l_u' = 0{,}0782 \times f_0' \times \sqrt{\frac{h_0 \times \frac{t_0 - t_a}{(1 - \alpha t_0)^2 \times (1 - \alpha t_a)}}{0{,}05 \left(0{,}024 \frac{z\, l_0}{d_0} + n_0'\right)}}$$

$$= 0{,}35 \times f_0' \times \sqrt{\frac{h_0 \times \frac{t_0 - t_a}{(1 - \alpha t_0)^2 \times (1 - \alpha t_a)}}{0{,}024 \times \frac{z\, l_0}{d_0} + n_0'}} \quad . \quad . \quad (30)$$

In Wirklichkeit ist aber die durch solche Canäle einströmende Luftmenge grösser als sie sich nach dieser Formel ergiebt, weil ihre Einströmung auch durch die Zugwirkung der Feuerungsanlage selbst, bezw. des Kamins zu Ungunsten der durch die Brennmaterialaufhäufung hindurchströmenden Luftgewichtsmenge begünstigt wird.

Wie man diese letztere, welche bisher mit L_u bezeichnet wurde und die wirklich durch vorgesehene Canäle einströmende sekundäre Luftgewichtsmenge ermitteln kann, ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

Denkt man sich die Canäle der sekundären Luft geschlossen, so strömt nur Luft durch die Brennmaterialaufhäufung ein und zwar eine Luftgewichtsmenge, welche nach Formel (Ia) allgemein auszudrücken ist durch

$$(L_u)_i = F_m \cdot \sqrt{\frac{\gamma_a \times \gamma \times \gamma_m \times \alpha \times \left[\frac{h'' \cdot (t'' - t_a)}{1 + \alpha t''} - \frac{h' \cdot (t' - t_a)}{1 + \alpha t'}\right]}{1{,}274 \cdot \left(\frac{\mu}{\nu}\right)^2 \times \left(m \times \frac{H}{d} + 1\right) \times \gamma_m + 0{,}051 \cdot \left(0{,}024 \cdot \frac{L}{D} + a + 1{,}34 \cdot b\right) \times \gamma}}$$

$$. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

und denkt man sich ferner die Luftströmung zu der Brennmaterialaufhäufung vollständig abgeschlossen, die Canäle für die sekundäre Luft aber vollständig geöffnet, so strömt durch diese eine Luftgewichtsmenge ein, welche — wenn man $F_m = \xi \times f_0'$ setzt — in Analogie zu dem vorstehenden Ausdruck für $(L_u)_i$ auszudrücken ist durch

$$(L_u')_i = f_0' \cdot \sqrt{\frac{\gamma_a \times \gamma_0 \times \gamma_m \times \alpha \left[\frac{h'' \cdot (t'' - t_a)}{1 + \alpha t''} - \frac{h' \cdot (t' - t_a)}{1 + \alpha t'} + \frac{h_0 \cdot (t_0 - t_a)}{1 + \alpha t_0}\right]}{0{,}051 \cdot \left[\left(0{,}024 \cdot \frac{l_0 \times z}{d_0} + n_0'\right) \times \gamma_m + \left(0{,}024 \cdot \frac{L}{D} + a + 1{,}34 \cdot b\right) \times \frac{\gamma_0}{\xi^2}\right]}}$$

$$. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

Addirt man die beiden Luftgewichtsmengen $(L_u)_i$ und $(L_u')_i$, so erhält man als Summe jedenfalls eine grössere Luftgewichtsmenge als die wirklich in die Feuerungsanlage eindringende, diese aber ist als bekannt anzunehmen und zwar ist sie nach dem früheren $L_u + L_u'$ und da die Einzeltheile L_u und L_u' den ideell ausgerechneten proportional sind, so übersieht man ohne Weiteres, dass diese Einzeltheile sich berechnen lassen als:

$$L_u = (L_u)_i \times \frac{L_u + L_u'}{(L_u)_i + (L_u')_i} \text{ und } L_u' = (L_u')_i \times \frac{L_u + L_u'}{(L_u)_i + (L_u')_i} \quad (33)$$

Die Berechnung und die passende Wahl der Summe f_0' aller für die Sekundärluft bestimmten Canäle unterliegt hiernach keiner Schwierigkeit mehr.

Führen diese Canäle die Sekundärluft nicht aufwärts, sondern abwärts in den Feuerraum ein, so ist h_0 als negativ in Rechnung zu setzen und verlaufen diese Canäle in wagerechter Linie irgendwie gestaltet (in Curven oder im Zickzack) derart, dass ihre beiden Enden in gleicher Höhenlage liegen, so ist $h_0 = 0$ in Rechnung zu setzen.

Soll die sekundäre Luft unter künstlich (etwa maschinell) erzeugtem Druck eingeführt werden, so ist in erster Linie zu beachten, dass die der Bewegung der Feuergase entgegenströmende Sekundärluft diese Bewegung hemmt. Je nach dem Verhältniss ihres Gewichtes zu dem der Feuergase, ihrem Druck und der Richtung, unter welcher sie mit den Feuergasen zusammenstösst, hemmt sie die Geschwindigkeit dieser letzteren für einen allerdings sehr kurzen Augenblick mehr oder weniger stark und führt nur, infolge der nach ihrer Vermischung mit den Feuergasen eintretenden stärkeren Wärmeentwickelung, wieder stärkere Bewegung herbei. Dies gilt auch für den Fall, in welchem die sekundäre Druckluft senkrecht zur Bewegungsrichtung der Feuergase oder mit nur geringer Abweichung von der Senkrechten in sich an die Feuergas[illegible] anschliessender Richtung einströmt.

[illegible] der Druckluftstrom in der Richtung der Feuergase [illegible]geblasen, was nach früheren Bemerkungen (vergl. [illegible] seine Vermischung mit den Feuergasen nur wenig

günstig ist, so unterstützt er deren Bewegung vermöge derjenigen Energie, die er in dem Feuerraum noch behält, die aber vortheilhafter Weise so klein als irgend angängig sein soll, weil gerade eine möglichst geringe Bewegung im freien Feuerraume der vollständigen Verbrennung günstig ist.

Eine direkte Zugverstärkung ist demnach durch Einführung der sekundären Verbrennungsluft unter Druck nicht anzustreben, sondern wenn eine Unterstützung nöthig ist, so muss man diese entweder durch Einführung von Druckluft unterhalb der Brennmaterialmasse oder, durch Einführung eines Dampf- eventuell auch eines hochgespannten Luftstrahls in den Kamin, bewirken.

Gleichwohl ist die Einführung der sekundären Luft unter Druck — der Verbesserung ihrer Mischung mit den Feuergasen wegen — vortheilhaft und, wenn das Verhältniss ihrer Gewichtsmenge zu derjenigen der letzteren gross ist und ihre Einführung in hochtemperirtem Zustand erfolgt, auch nothwendig um möglichst grosse Luftmassen mit den einzelnen Feuergastheilen in Vermischung bringen zu können.

In gewöhnlichen Fällen, in welchen eine wesentliche Beschränkung der Rostfläche nicht erforderlich ist, empfiehlt es sich, je nach der Beschaffenheit des Brennmaterials 5 bis 10 Prozent der erforderlichen Gesammtluftmenge als sekundäre Luft in den Feuerraum einzuführen, also $\frac{L_u'}{L_u + L_u'} = 0{,}05$ bis 0,1 zu wählen.

Da die Geschwindigkeit der Gase im freien Verbrennungsraum nicht gross sein soll, so ist auch der zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit nothwendige Ueberdruck bei zweckmässigen Anlagen unbedeutend, und da die unter Druck eingeführte Sekundärluft höchstens diese Geschwindigkeit für einen sehr kurzen Augenblick unterbricht, so ist der durch Einführung der Sekundärluft unter Druck verursachte Bewegungswiderstand im Allgemeinen so unbedeutend, dass man darauf nicht Rücksicht zu nehmen braucht.

IV. Die Einrichtung der Lufteinführungsstellen.

Die Verbrennungsluft wird theils durch die Brennstoffmasse hindurch (oder mit derselben gemischt) in den Verbrennungsraum eingeführt, theils als sekundäre Luftmenge den Feuergasen entgegengeleitet, um sich mit diesen zu vermischen. Diese verschiedenen Einführungsarten bedingen nicht nothwendig verschiedene Einrichtungen, da man durch eine beliebige Wandöffnung des Ofens hindurch ebensowohl Luft in eine aufgeschichtete Masse festen Brennmaterials, wie in einen mit mehr oder weniger hochtemperirten brennbaren Gasen gefüllten Raum einströmen lassen kann.

Dennoch bedarf man aus besonderen Zweckmässigkeitsgründen sehr verschiedener Einrichtungen der Lufteinführungs- und der Luftmischungs-Stellen und zwar insbesondere

1) Rosteinrichtungen;
2) Einrichtungen zur Mischung von Luft mit Gasen;
3) Einrichtungen zur Einführung gepresster Luft.

1. Die Rosteinrichtungen.

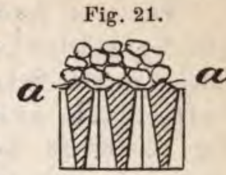
Die Rosteinrichtungen sind stets dazu bestimmt, Verbrennungsluft in eine aufgehäufte Masse festen Brennmaterials einströmen zu lassen und sollen zumeist auch gleichzeitig der Asche den Durchfall in einen besonderen Sammelraum (den Aschenfallraum) gestatten.

Die letztere Bestimmung betrifft nur wagerecht oder geneigt liegende ebene, sowie dachförmig und korbähnlich gestaltete Roste, dagegen haben stufenförmige und senkrecht angeordnete Roste nicht die Bestimmung Asche abzusondern.

Der Planrost. Ein Rost, welcher die Asche des Brennmaterials durchfallen lassen soll, darf dieser Asche nicht die Möglichkeit bieten, sich über ihm anzuhäufen, muss deshalb möglichst zahlreiche Lücken und möglichst geringe ebene Ablagerungsfläche haben. Beide Auf-

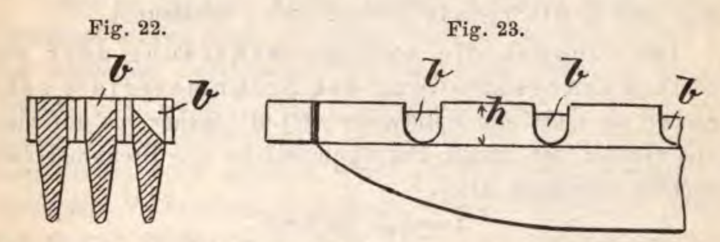
gaben werden am besten erfüllt, wenn man die Stäbe, aus welchen ein solcher Rost zu bilden ist, mit Abdachungen (vergl. *a* in Fig. 21) an der Auflagerstelle des Brennmaterials versieht; man muss indessen beachten, dass die scharfen Kanten, welche hierbei als Auflager entstehen, dem Verbrennen viel mehr unterliegen als breitere Flächen und darf deshalb eine solche Form der Roststäbe nur für sehr aschenreiches und mit wenig hoher Temperatur verbrennendes Brennmaterial verwenden.

Fig. 21.



Dieser Form zunächst kommt die in den Fig. 22 und 23 dargestellte, in welcher zahlreiche schrägabfallende Einker-

Fig. 22. Fig. 23.



bungen *b* dem gleichen Zweck dienen, wie die Abschrägungen *a* des in Fig. 21 angedeuteten Rostes. Damit hierbei die Einkerbungen nicht kleine Brennmaterialtheile durchfallen lassen, ist es nöthig sie entweder sehr eng zu machen oder aber in den einzelnen Roststäben an verschiedenen Stellen derart anzuordnen, dass niemals zwei einander gegenüberliegende Einkerbungen miteinander eine grössere Oeffnung bilden können; am besten ist es jedoch die Roststäbe so weit als die Einkerbungen *b* reichen, also im Betrag der Höhe *h* in Fig. 23, gleichdick zu machen oder sogar nach abwärts bis zur unteren Kante der Einkerbungen an Dicke etwas zunehmen und erst von dieser Kante an nach abwärts an Dicke abnehmen zu lassen.

Damit die durch die Lücken des Rostes (die Rostspalten) hindurchfallende Asche den Luftzutritt durch diese Lücken nicht hemme, ist es nöthig, dieselben in dem Verhältniss weiter als die freie Durchgangsfläche einer Brennmate-

rialschichte zu wählen, in welchem das Brennmaterial Asche ausscheidet.

Ist die Ascheausscheidung sehr gering und ein Verschlacken oder Verschmieren des Rostes infolge grosser Schmelzbarkeit des Brennmaterials nicht zu befürchten, so ist eine Einrichtung des Rostes in der durch Fig. 22 und 23 dargestellten Art nicht erforderlich und es genügt, wenn man die Spaltfläche des Rostes um 50 Prozent grösser als die freie Durchgangsfläche der Brennmaterialschichten (d. i. um 50 Prozent grösser als 0,2 F), also

$$f = 0{,}3 \times F$$

wählt, wenn f die Spaltfläche oder die sogen. freie Rostfläche und F die totale Rostfläche bezeichnet.

Ist dagegen die Ascheausscheidung oder die Schlackenausscheidung des Brennmaterials sehr gross, so muss die Spaltweite von $2^1/_2$facher bis auf vierfache Grösse der freien Durchgangsfläche der Brennmaterialschichten erweitert, also

$$f = 0{,}5 \text{ bis } 0{,}8\ F$$

genommen werden.

Was die Dicke der Roststäbe betrifft, so ist zu bemerken, dass dieselben am besten so gross als irgend möglich zu wählen ist, weil die Dauerhaftigkeit des Rostes gegen Durchbrennen immer umso grösser ist, je dicker die Roststäbe sind. Demnach ist für die Wahl der ⁻ ıtstabdicke nur die Bedingung maassgebend, dass die- keine **Spaltweite** bedingen darf, welche das hfallen eines namhaften Prozentsatzes an ıranntem Brennmaterial ermöglicht.

grösste Dicke, welche man gewöhnlichen prismatischen n geben darf, ergiebt sich demnach aus der Be-

$$d \leqq \frac{F}{f} \times b \text{ mm}$$

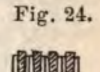
ie Roststabdicke und b die zulässige Spaltbreite in bezeichnet. Hat man beispielsweise trockenen

(nicht backfähigen) Kohlengries zu verbrennen, so darf man bei einfacher prismatischer Form der Roststäbe (vergl. Fig. 24) diesen keine grössere Dicke als

$$\frac{F}{f} \times 3 \text{ mm}$$

geben, weil sehr viele Stückchen des Kohlengries nicht mehr als 3 mm dick sind. Ist also der Aschegehalt dieses Brennmaterials selbst sehr gering, so darf die Dicke des einfach prismatischen Roststabes nicht mehr als

Fig. 24.



$$\frac{3}{0,3} = 10 \text{ mm}$$

betragen.

Bei so geringer Dicke findet, in einem Feuerherd, in welchem starke Hitze entwickelt wird, in äusserst kurzer Zeit ein seitliches Durchbiegen der Stäbe statt, das durch zahlreiche Stehbolzen, welche mehrere Stäbe verbinden, nur wenig vermindert wird und da hierbei der Luftraum zwischen den Stäben sehr ungleich wird, so sind dieselben auch sehr baldigem Verbrennen ausgesetzt. Dieser Uebelstand besteht bei dünnen Stäben auch dann noch, wenn die Spaltweite auf 5 bis 7 mm erweitert wird, wobei trockener Gries auf ihnen überhaupt nicht verbrannt werden kann.

Wenn man demnach sehr enger Spaltweite bedarf, um das Durchfallen des Brennmaterials hinreichend zu verhindern, so empfiehlt es sich von der einfachen prismatischen Stabform Abstand zu nehmen und einen Rost zu wählen, welcher ausser Längsschlitzen auch noch Querschlitze besitzt, so dass bei gleicher Stabdicke die Schlitzlänge erheblich vergrössert und demgemäss das nöthige Verhältniss $\frac{f}{F}$ auch bei grösserer Stabdicke erzielt werden kann.

Solche Querschlitze kann man ohne jede Complicirtheit erlangen, wenn man prismatische Stäbe von ihrer oberen Fläche aus bis zu gewisser (für die Haltbarkeit zulässiger) Tiefe mit senkrechten Einschnitten versieht (vgl. Fig. 25 u. 26 S. 180), weil die Stäbe vermöge ihrer Verjüngung nach unten bedeutend mehr Luft einströmen lassen können, als die Längs-

spalten zwischen ihnen allein abzuführen vermögen. Solchen Einschnitten wird man zweckmässiger Weise eine möglichst steil abfallende Basis geben (vergl. c in Fig. 25) damit sie sich nicht leicht mit Asche vollsetzen können; auch empfiehlt es sich aus demselben Grunde, die Querschlitze nach abwärts etwas zu erweitern, und um eine möglichst grosse Schlitzlänge zu erzielen empfiehlt es sich, die Einschnitte unter möglichst spitzem Winkel zur Längskante der Roststäbe anzuordnen; es ist dann sehr gut zulässig die grösste Dicke der Roststäbe auf 20 bis 22 mm zu erhöhen. Dabei wird die Haltbarkeit der Stäbe durch die Querschlitze noch etwas begünstigt, weil in diesen die zuströmende Luft abkühlend wirkt.

Fig. 25.

Fig. 26.

Der Abkühlung der Roststäbe durch geeignete Mittel wird mit Recht eine Verlängerung der Dauer derselben zugeschrieben, die Mittel, welche dazu benutzt werden, sind jedoch nicht immer sehr zweckmässig. Die Anwendung hohler Roststäbe, durch welche Luft hindurchgeleitet wird, um diese an geeigneter Stelle im vorerhitzten Zustand verwenden zu können, ist nur dann zweckmässig, wenn die Einrichtung sehr einfach ist. Durch solche hohle Roststäbe Wasser hindurchströmen zu lassen, welches theilweise durch die Poren des Eisens hindurchdringt und dieses dabei allmählich durch und durch oxydirt, kann als besonders zweckmässig nicht erachtet werden.

Ich habe vorstehend auch ausdrücklich bemerkt, dass die Haltbarkeit der Roststäbe durch Querschlitze der beschriebenen Art „etwas" begünstigt werde, um damit anzudeuten, dass man der abkühlenden Wirkung der durch die Einschnitte strömenden Luft keine sehr grosse Bedeutung beimessen darf, weil insbesondere die in die Querschlitze hineinfallende Asche eine wesentliche Abkühlung der Umfassungslung derselben nicht zulässt. Fehlerhaft aber würde es sein, wenn man diese Einschnitte einwärts so sehr

erweitern würde, dass sie eine Schwächung der Roststäbe bedingen.

Ein zweckmässiges Mittel zur Abkühlung der Roststäbe bietet, wie schon früher erwähnt wurde, die Erhaltung eines Wasserbades in dem Aschenfallraum, welches herabfallende heisse Asche und glühende Brennmaterialstückchen sofort ablöscht und demzufolge den Aschenfallraum selbst kühl hält.

Ueber die Höhe und Länge der einzelnen Roststäbe ist zu bemerken, dass die erstere in Rücksicht auf die Widerstandsfähigkeit gegen Durchbiegung der Stäbe unter dem Einfluss ihrer Hitze und Belastung in bestimmtem Verhältniss zur letzteren zu wählen ist und zwar hätte man nach v. Reiche für lange Roststäbe von einfach prismatischem Querschnitt die Höhe in der Mitte $= 25$ mm $+ 0{,}1 \times l$ zu wählen, wenn l die Länge des Roststabes in Millimetern bezeichnet. Roststäbe mit Einschnitten in der Querrichtung würden um die mittlere Tiefe des Einschnittes höher zu machen sein. Was die Länge der Roststäbe betrifft, so ist dieselbe mit Rücksicht auf das, mit derselben erheblich wachsende Gewicht und den dem letzteren entsprechenden Preis, so klein als möglich, dagegen in Rücksicht auf die Vereinfachung der ganzen Rostanlage und die Bedienung (für welche ein Rost von mässiger Breite besser ist als ein sehr breiter) für einen grossen Rost so gross als angängig, jedenfalls aber nicht grösser als 1 m zu wählen.

Die Gesammtlänge eines Rostes soll nach v. Reiche 2 m und die Gesammtbreite 1,5 m nicht wesentlich überschreiten.

Was die Lagerung der Roststäbe betrifft, so ist zu bemerken, dass die letzteren sich in der Hitze verlängern und bei Abkühlung nicht wieder vollständig auf ihre frühere Länge zurückkehren und dass sie bei langem Gebrauch immer mehr an bleibender Verlängerung zunehmen. Wenn auch dieses Wachsen der Länge nicht sehr bedeutend ist, so ist es doch bei ungeeigneter Lagerung der Roststäbe nicht selten die Ursache, dass diese sich von ihren Trägern abheben oder

sich biegen. Der erstere Umstand hat neuerdings wieder zu einer wenig glücklichen Construktion eines Engländers Veranlassung gegeben, der sich dieselbe sogar patentiren liess, weil er sie für sehr zweckmässig hielt. Dieselbe ist durch die in Fig. 27 dargestellte Einrichtung charakterisirt. Der

Fig. 27.

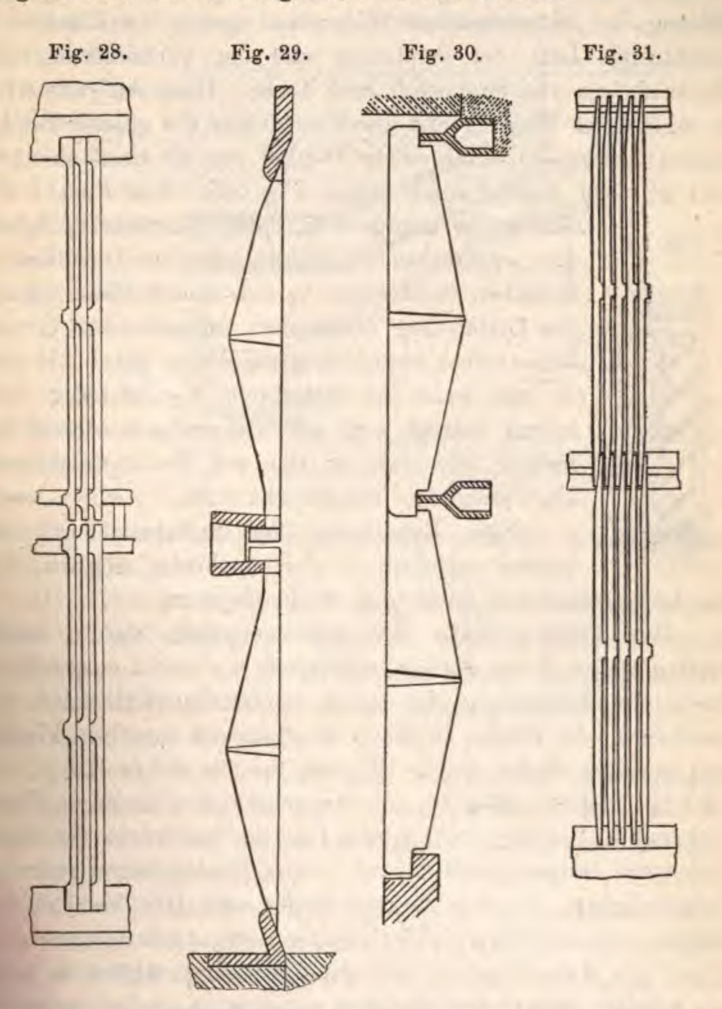


vordere der beiden dargestellten Roststäbe (*A*) klemmt sich hierbei dermaassen zwischen seinen Trägern *a* und *b* fest, dass er überhaupt gar nicht mehr abgenommen werden kann, ohne den einen dieser Rostträger vollständig zu beseitigen; dem hinteren Rost (*B*) ist zwar die Möglichkeit gewährt sich zu verlängern ohne sich zu krümmen, aber der Construkteur hielt es trotzdem für nothwendig, diesen Stab dermaassen in den vorderen Roststab einzufügen, dass er durch diesen auf seinem Sitz nieder gehalten wird. Zudem nehmen auch die massiven Rostträger eine grosse Menge Luftbewegungsraum weg und werden in der Hitze leicht so heiss, dass sie sich durchbiegen, so dass also der Rost binnen kurzer Zeit eine nichts weniger als ebene Fläche aufweisen und wahrscheinlich auch vollständig herauszureissen sein wird.

Als Gegenstücke führe ich zwei ganz vorzügliche Arten der Rostlagerung in den Fig. 28—29 und 30—31 hier vor, zu welchen Erläuterungen entbehrlich sein dürften.

Um den Rost bequem von Asche und Schlacken reinigen zu können ohne das darüber liegende Brennmaterial mit dem Schüreisen aufreissen zu müssen, sind verschiedene Einrichtungen zur mechanischen Bewegung des Rostes ersonnen worden. Von allen diesen Einrichtungen hat sich indessen nur eine einzige dermaassen bewährt, dass sie als unter allen Umständen zuverlässig bezeichnet werden kann. Dieselbe besteht weder in einer Vorrichtung zum abwechselnden Lüften der einzelnen Roststäbe mittels gezahnter Walze, noch einer Schüttelvorrichtung zum gleichzeitigen Bewegen des

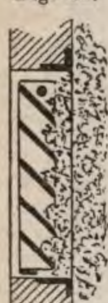
ganzen Rostes, sondern einfach in der Anwendung vierkantiger Roststäbe, welche in ausgerundeten Lagerbetten liegen und an ihren nach aussen hervorstehenden Enden einzeln mittels eines aufgesteckten Schlüssels gedreht werden können.



Ueber schrägliegende ebene Roste wurde bereits ' Seite 78 u. 79 die nöthige Andeutung hinsichtlich der ıhl ihrer Neigung gegeben.

Bei senkrecht angeordneten Rosten, welchen nur die Aufgabe zufällt als Gitter die Einströmung von Luft in eine Brennmaterialaufhäufung zu gestatten, handelt es sich lediglich um Beschaffung einer möglichst grossen Durchgangsöffnung bei hinreichendem Widerstand gegen die daran sich anstützende Last der Schüttung und um Verhinderung des Herausfallens von Brennstoff und Asche. Diese Aufgabe wird in einfachster Weise gelöst durch ein Gitter von grosser Breite, dessen Gitterstäbe unter einem Winkel von 45 Grad einwärts und abwärts geneigt sind (vergl. Fig. 32). Die Anzahl der Gitterstäbe ergiebt sich dabei construktiv, indem die wagerechte Projektion der äusseren Enden derselben mindestens $^1/_5$ der nächst höher liegenden Gitterstäbe überdecken müssen. Die Gitterstäbe selbst brauchen nicht dicker als 5—10 mm zu sein wenn die Gitterbreite $^1/_5$ der Länge derselben beträgt und der Gitterrahmen derart befestigt ist, dass er nur auf Druck (nicht auf Durchbiegung) beansprucht wird.

Fig. 32.

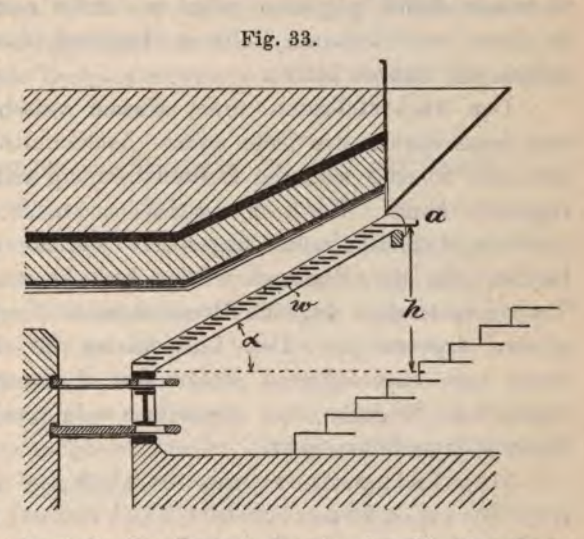


Eine Regulirung der Lufteinströmung ist hierbei natürlich in gleicher Weise möglich, wie bei Lufteinströmung durch den Aschenfallraum.

Der Treppenrost. Wie schon erwähnt wurde, haben stufenförmige Roste ebenso wenig wie senkrecht angeordnete Roste die Bestimmung, die Asche der Brennmaterialmasse abzusondern; die Stufen bestehen desshalb aus massiven Platten von geringer Dicke (8 bis 12 mm), 0,4 bis 0,6 m Länge und 120 bis 150 mm Breite, mit Ausnahme der obersten Platte (der sogen. Schürplatte) *a* in Fig. 33, welche in der Regel bedeutend breiter gewählt wird. Diese Platten liegen zwischen Seitenwangen (*w*) von 25 mm Dicke und 100 bis 150 mm Breite. Die Höhenausdehnung des stufenförmigen Theiles des Rostes soll der Bedienung wegen so klein als möglich sein, jedenfalls aber nicht mehr als 1 m betragen. Der Höhenabstand der Rostplatten wird sehr verschieden gewählt. Wendet man selbstthätige Schüttung durch einen Fülltrichter an, so ist es zweckmässig, den Höhen-

abstand der Rostplatten nicht grösser als 35 mm zu wählen, so dass man gerade bequem eine Krücke zwischen die Platten einschieben kann, mittels deren man das Brennmaterial weiter stösst, sobald sich über demselben ein freier Luftraum zu bilden beginnt, der sich durch einen pfeifenden Ton bemerkbar macht. Wird das Brennmaterial mit der Schaufel auf die Schürplatte (a) aufgegeben, so wählt man die Höhenabstände der Rostplatten in der Regel grösser und zwar bis zu 50 mm.

Fig. 33.



Die Neigung der Wangen gegen die wagerechte Ebene ist gleichgiltig so lange sie nicht so gross ist, dass das Brennmaterial auf dem Rost von selbst abwärts rutschen kann. In der Regel wählt man den Neigungswinkel α (Fig. 33) zwischen 30 und 40 Grad.

Die Rostplatten werden auf Seitenleisten der Wangen aufgelegt, welche die Platten vorn und hinten begrenzen, so dass sich dieselben nicht verschieben und unschwer ausgewechselt werden können.

Da die Rostplatten des Treppenrostes keine Asche durchfallen lassen, so muss jeweils unter dem Treppenrost noch ein Planrost vorgesehen sein, auf welchem die Verbrennung vollendet wird und durch welchen die Asche hindurchfällt.

Da nun dieser Rost in möglichst kurzem Abstand unter der untersten Rostplatte des Treppenrostes liegen muss und

es deshalb nicht möglich ist ihn mittels Schüreisen zu entschlacken, so muss er zum Hervorziehen eingerichtet sein, wobei er sich von selbst entleert. Er wird deshalb entweder in einem Stück gegossen oder es werden seine Roststäbe so in einen verschiebbaren Rahmen eingelegt, dass sie mit demselben ein Ganzes bilden.

Der Aschenfallraum unter diesem verschiebbaren Planrost muss ebenso wie jeder andere Aschenfallraum abschliessbar sein, so dass man die Lufteinströmung unter diesem Rost reguliren kann. Wird er entleert, so muss der Luftzutritt zu dem Aschenfallraum abgesperrt werden und abgesperrt bleiben bis der Planrost wieder bedeckt und das auf den Treppenroststufen liegende Brennmaterial überall durch Vorstossen erneuert ist. Den Luftschieber für den Aschenfallraum legt man zumeist unter den Planrost, so dass er Asche und Schlacke von demselben aufnimmt und erst beim Hervorziehen fallen lässt.

Der Treppenrost eignet sich im Allgemeinen nur für trockenes (nicht backendes) Brennmaterial (insbesondere für Braunkohle) weil es bei gewöhnlicher Einrichtung desselben nicht möglich ist, backendes Brennmaterial auf ihm (für den Durchzug der Luft) aufzubrechen. Ausserdem darf auch das auf ihm verfeuerte Brennmaterial nicht sehr aschereich sein, weil die Asche erst auf dem Planrost abgesondert wird und bis dahin die Brennmaterialmasse verunreinigt und verdeckt, wodurch die Verbrennung sehr beeinträchtigt wird.

Auch findet das Brennmaterial auf dem Treppenrost eine sehr grosse Abkühlungsfläche an seinem Auflager, welche die Wärmeökonomie vermindert.

Man hat auch Roste construirt, welche einzelne stufenförmig übereinander liegende Feuerstellen mit schrägliegendem Planrost haben. Eine solche Einrichtung **„Etagenrost“** genannt, gewährt zwar unschwer vollständige Verbrennung des Brennmaterials, weil auf ihm frisches Brennmaterial unter dem von oben her nachgeschobenen glühenden liegt und seine Destillations- und Verbrennungsgase demnach durch glühende

Kohlen hindurchstreichen; dabei ist diese Einrichtung aber ziemlich theuer und mit einer grossen Abkühlungsfläche für das Brennmaterial behaftet und ausserdem beschmutzt die aus den oberen Stufen herniederfallende Asche die unteren Schürstellen.

Einige neuere Rosteinrichtungen werden in dem folgenden Abschnitte besprochen werden.

2. Einrichtungen zur Mischung von Luft mit Gasen.

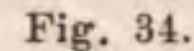
Bei der Einführung von Mischluft, sei es zu den bereits entwickelten Feuergasen, sei es zu unerhitzten brennbaren Gasen, welche zwecks Verbrennung in die Feuerungsanlage einströmen, ist es immer von Wichtigkeit, die Mischung auf möglichst kurzem Wege möglichst innig zu bewirken.

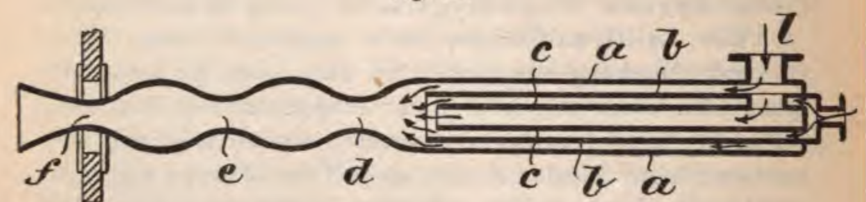
Wie bereits an früherer Stelle angedeutet wurde, wird eine gute Mischung bewerkstelligt, wenn man die Luft den brennbaren Gasen möglichst direkt entgegenströmen lässt und die in Mischung begriffenen Gasmassen sodann möglichst zusammendrängt. Handelt es sich speciell um Mischung von Luft mit Feuergasen, so tritt hierzu als weitere Bedingung die Vorerhitzung der ersteren, damit sie die Temperatur der letzteren im Momente ihres Zusammentreffens mit denselben möglichst wenig vermindere.

Kann man nicht leicht bewirken, dass die Luft den Gasen unmittelbar entgegenströme, so ergiebt sich oft die Möglichkeit dies in mittelbarer Weise zu thun, indem man entweder beide (Luft und Gase) möglichst direkt gegen eine und dieselbe Wand hinleitet oder indem man die Gase durch eine Wand von ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung ablenkt und die Luft in der Richtung dieser Wand einführt oder umgekehrt.

Lässt sich auch dieses Mittel nicht ohne Schwierigkeit oder Complikation zur Anwendung bringen, so bleibt immer noch das Mittel des Zusammendrängens der Gase mit der Luft übrig, welches Mittel sich ganz besonders erfolgreich zur Wirkung bringen lässt, wenn man Gase und Luft in einem grösseren Raume zusammenströmen lässt, die Ein-

führung der Luft (oder auch der Gase) an möglichst vielen Stellen dieses Raumes zugleich vornimmt und sodann die Zusammendrängung mehrmals wiederholt, nachdem man jeweils vorher der Mischung auf kurze Zeit wieder einen grösseren Raum eingeräumt hat. Eine Einrichtung zur Mischung für Gase mit Luft in einer rohrähnlichen Vorrichtung vor dem Einströmen beider in die Feuerungsanlage würde demnach principiell so zu beschaffen sein, wie sie durch Figur 34 schematisch angedeutet ist, in welcher bei *l* Luft in den äusseren Raum *a* und zugleich in den innersten Raum *c* einzuführen wäre, während in den mittleren Raum *b* zwischen *a* und *c* das brennbare Gas einzuleiten wäre. Die Mischung


Fig. 34.

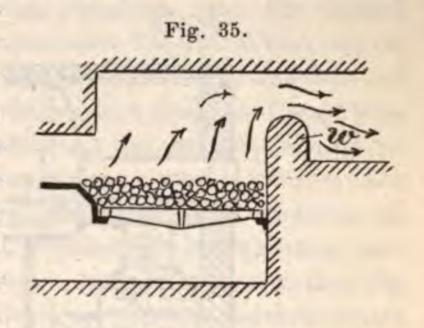


würde dann bei *d* eine erste, bei *e* eine zweite und bei *f* eine dritte Zusammendrängung erleiden und endlich, jenseits letzterer Stelle, sich wieder erweiternd, in die Feuerungsanlage einströmen. Die Verengungen *d*, *e* und *f* lassen sich durch einfaches Zusammendrücken des äusseren Rohres erzeugen. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass unter Umständen einmalige Zusammendrängung des Gas- und Luftgemisches aus-·ht, den erwünschten Erfolg zu sichern.

Im Inneren von Feuerungsanlagen lassen sich die für te Mischung von Feuergasen und Luft nöthigen Ver-n in der verschiedensten Weise herstellen. Am meisten ıch ist hierzu eine sogen. Feuerbrücke, d. i. eine ansteigende Wand, welche sich bis zu bestimmter ıng von der oberen Feuerraumbegrenzung erhebt in Figur 35) und über welche die Feuergase hinweg- um sodann wieder in einen weiteren Raum zu ge-

Die Entfernung der Feuerbrücke von der darüberliegenden Wandung, bezw. der engste Bewegungsquerschnitt der Feuergase ist derart zu bemessen, dass die Geschwindigkeit der letzteren hier jedenfalls 10 Meter nicht überschreitet, weil die Feuerbrücke sonst sehr rasch defekt wird, wie man zu sagen pflegt „durch das Lecken der Flamme", in Wirklichkeit aber infolge der kolossalen Wärmemenge, welcher sie binnen kurzer Zeit an jeder einzelnen Stelle ihrer Oberfläche ausgesetzt ist.

Fig. 35.

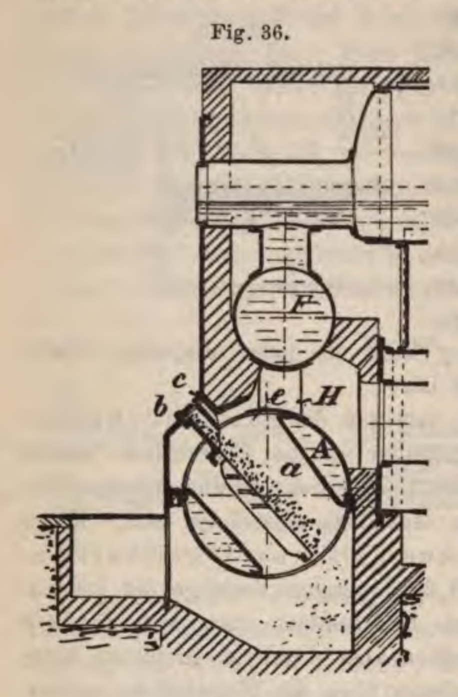


Manche Construkteure verlegen die Einmündung der sekundären Luft unmittelbar in die Feuerbrücke selbst und zwar derart, dass diese Luft an der Stelle grösster Einengung der Feuergase in dieselben einströmen soll. Eine solche Einrichtung muss als unvortheilhaft bezeichnet werden, weil die Feuergase vermöge der grossen Geschwindigkeit, welche sie hier besitzen, zwar wohl die Luft mit sich fortreissen, derselben aber durchaus nicht die Möglichkeit lassen, sich mit ihnen über der Feuerbrücke zu vermischen; die Vermischung kann in solchem Falle erst später erfolgen und die Feuerbrücke büsst demzufolge einen Theil ihres sonstigen Werthes ein.

Eine Einrichtung besonderer Art, welche seit Mitte der 70er Jahre die mannigfaltigsten Nachahmungen gefunden hat, enthält die Ten-Brink-Feuerung, welche in Fig. 36 (siehe S. 190) in einer Specialausführung dargestellt ist. Hierbei wird durch *b* das Brennmaterial auf den im Innern des charakteristischen Vorkessels *A* liegenden schrägliegenden Planrost aufgegeben, zu welchem der grösste Theil der Verbrennungsluft durch den Aschenfallraum hindurch eingelassen wird, während bei *c* durch eine regulirbare Oeffnung sekundäre Verbrennungsluft einströmt. Hierbei ereignet sich bei gut geführter Feuerung Folgendes:

Die bei c eindringende Luft erhitzt sich ausserordentlich rasch, dehnt sich demzufolge gewaltig aus und dringt nicht nur in der Zugrichtung vorwärts, sondern theilweise auch über den schrägliegenden Rost abwärts, so dass fortwährend Flammen in den Aschenfallraum hineinschlagen, sich hier aber förmlich umbiegen und in entgegengesetzter Richtung, über die schwereren, abwärtsgedrängten Gase hinweg, der Oeffnung e zuströmen, woselbst sie sich mit demjenigen Theile der durch c eingedrungenen Luft vermischen, der die höchste Temperatur angenommen hat.

Fig. 36.



Die Beachtung dieses Vorgangs, bei welchem die schweren, am wenigsten weit in der Verbrennung vorgeschrittenen Gase von der durch c einströmenden Luft abwärts über die stark glühenden Kohlen hinweggedrängt werden, um erst in fast weissglühendem Zustand entgegengesetzt über die abwärts strömenden Gase hinwegzustreichen und schliesslich noch einmal mit sehr rasch hocherhitzter Luft in Vermischung zu treten, macht die bekannten vorzüglichen Resultate der Ten-Brink-Feuerung leicht erklärlich. Diese Resultate benöthigen übrigens hier wie sonstwo eine sehr hohe Temperaturentwickelung, welche, der von Eisenflächen engbegrenzten Feuerung wegen, einen bedeutenden Brennmaterialconsum bedarf (vergl. S. 113—116).

In der That lehrt die Erfahrung, dass die Temperaturentwickelung solcher Feuerung bei rationellem (günstigem)

Betrieb immer eine ganz bedeutende ist und dass der über dem schrägen Rost liegende Theil der Feuerbüchse während der normalen Feuerung nie von Wasser berührt wird, sondern stets von grosser Dampfmenge umgeben ist. Die Dampfentwickelung in dem eigenthümlichen Ten-Brink-Vorkessel ist eine so gewaltige, dass die Verbindungsstutzen desselben mit dem Oberkessel (*F*) allein nicht befähigt sind, die Dampfmasse rasch genug nach oben abzuführen, dass hierzu vielmehr besondere Dampfsammelrohre eingeschoben werden müssen. Der Dampf, welcher den Obertheil der Feuerbüchse umgiebt, befindet sich in einem Zustand, welcher der Ueberhitzung nahe ist; das Material der Feuerbüchse (welches seiner starken Beanspruchung wegen in der Regel aus bestem Holzkohleneisen besteht) ist deshalb auch selbst hier ausserordentlich hocherhitzt, so dass es leicht durchbrennt.

Der Umstand, dass sich solche Feuerung, wie erwähnt, nur für starken Brennmaterialconsum eignet, macht es sehr begreiflich, dass sie, für kleinen Betrieb kopirt, nicht selten sehr ungünstige Resultate ergiebt, weil sich bei diesem mit Anwendung der Ten-Brink-Feuerung die zur vollkommenen Verbrennung nöthige hohe Temperatur gar nicht erzielen lässt.

Nicht dadurch, dass man sekundäre Luft überhaupt mit unverbrannten Gasen in Vermischung bringt, erzwingt man vollständige Verbrennung, sondern es gehört dazu, wie schon mehrfach angeführt wurde, auch eine hohe Vermischungstemperatur, welche vorerst die Möglichkeit gewähren muss, bei der folgenden Verbrennung diejenige Temperaturhöhe entwickeln zu können, ohne deren Bestehen vollkommene Verbrennung ausgeschlossen ist.

Wenn die in einer bestimmten Zeit zu verbrennende Brennmaterialmenge überhaupt nicht die Möglichkeit bietet, die zur vollständigen Verbrennung nöthige Temperatur zu erzeugen, dann mag durch Wahl einer der Ten-Brink-Feuerung nachgeahmten Einrichtung günstigenfalls vielleicht erreicht werden, dass die sekundär einströmende Luft den sichtbaren Rauch vermindert; weniger günstigen Falles aber kann eine solche Einrichtung sogar eine ganz besonders

schlechte Verbrennung bewirken, nämlich dann, wenn sie verursacht, dass die sekundär einströmende Luft die Feuergase (auf Kosten ihrer eigenen Temperaturerhöhung) mehr abkühlt als sie (vermöge ihrer theilweisen Verbindung mit ihnen) zu der weiteren Temperaturentwickelung beiträgt.

Wird in einer dem Ten-Brink-System nachgeahmten Feuerungsanlage eine grosse Brennmaterialmenge verbrannt und dabei ohnehin schon eine **sehr hohe** Temperatur erzeugt, so hat unter Umständen niedrige Temperatur der sekundär einströmenden Luft keinen erheblichen Einfluss; wenn aber der Brennmaterialconsum in einer solchen nachgeahmten Feuerungsanlage nur gering ist und ebenso stark abkühlende Flächen darin vorkommen wie in der Ten-Brink-Dampfkesselfeuerung, so kann man nicht erwarten, dass die niedrige Temperatur der etwa in quantitativ gleichem Verhältniss zu den Feuergasen stehenden sekundär einströmenden Luft auf die jetzt **geringe** Temperatur dieser Feuergase ebenfalls nur geringen Einfluss habe.

Sehr hocherhitzten Feuergasen gegenüber hat die Temperatur einer zu diesen Feuergasen in bestimmtem Gewichtsverhältniss stehenden Sekundär-Luftmenge unter Umständen nur sehr geringen Einfluss; schwacherhitzten Feuergasen gegenüber aber einen bedeutenden Einfluss.

Daraus folgt von selbst, dass man bei kleineren
rungsanlagen immer vorerhitzte Sekundär-
nführen muss und deren Temperatur vorher umsomehr
muss, je grösser der abkühlende Einfluss der den
umschliessenden Wandung ist.

ıtlich der Mittel zur Vorerhitzung der
einzuführenden Luft wurde bereits wieder-
t, dass es vortheilhaft ist dazu solche Wärme nutz-
ıen, welche sonst als verloren zu erachten ist und

dass hierzu die Wandung des Aschenfallraumes einer Feuerungsanlage, in welcher festes Brennmaterial verbrannt wird, leicht dienstbar gemacht werden kann, wenn man in derselben an geeigneten Stellen Luftführungscanäle anordnet. Soll die Luft weiter vorerhitzt werden als es hier in geraden oder mehrfach umgebogenen Canälen möglich ist, so ergiebt sich als naheliegendes Mittel die Anwendung eines in den Brennmaterialschüttraum selbst eingebetteten oder um denselben herumgelegten Canales, oder unter Umständen auch die Verwendung von hohlen Roststäben für die Hindurchleitung der Sekundärluft. Dass das letztere Mittel im Allgemeinen nicht als besonders zweckmässig erachtet werden kann, wurde bereits weiter oben erwähnt; dagegen kann die Verwendung eines in den Schüttraum eingebetteten oder denselben umschliessenden Luftcanales zumeist dann zweckmässig genannt werden, wenn dieser Canal nur einen sehr geringen Prozentsatz der hier erzeugten Wärmemenge für die Erhitzung der durch ihn hindurchströmenden Luft beansprucht, was immer dann der Fall ist, wenn die Luft, bevor sie in einen solchen Canal einströmt, schon durch sonst nutzlos abgehende Wärme vorerhitzt wird. Dagegen sollen Canäle zur Vorerhitzung der Sekundärluft in der Umwandung des heissesten Verbrennungsraumes, in welchem die Mischung der Sekundärluft mit den Feuergasen erfolgt, aus früher erwähnten Gründen (vergl. S. 98) nicht untergebracht werden.

Für die Vermischung vorerhitzter Sekundärluft mit den Feuergasen sind die gleichen Einrichtungen anzuwenden wie für die Vermischung nicht vorerhitzter Sekundärluft; dabei ist jedoch zu beachten, dass sie weniger leicht als diese mit den Feuergasen eine innige Mischung eingeht, weil sie sich während der Mischung nicht mit gleicher Energie ausdehnt wie die unerhitzt einströmende Luft. Deshalb empfiehlt es sich, die vorerhitzte Luft unter Pressung in die Feuerungsanlage einzuführen, wenn die Mittel hierzu leicht zu beschaffen sind.

3. Einrichtungen zur Einführung gepresster Luft.

Das Comprimiren der in einen Feuerofen einzuführenden Luft bezweckt, deren Einströmung mit einer gewissen Energie zu bewirken, um entweder ihre gute Mischung mit schon vorhandenen Feuergasen zu begünstigen oder um überhaupt eine bestimmte Luftgewichtsmenge, welche, unter den sonst vorliegenden Verhältnissen, nicht von selbst in die Feuerungsanlage einströmen würde, in dieselbe hineinzupressen.

Es ist hierbei ein wesentlicher Unterschied zu machen zwischen der Einführung gepresster Luft unter einen Rost und der seitlichen Einführung der Luft in einen mit Brennmaterial etc. angefüllten Raum oder in einen freien Feuerraum.

Handelt es sich um die Einführung gepresster Luft in den Aschenfallraum einer Rostfeuerung, so ist im Grunde nur hinsichtlich der Lage und Richtung der Einmündung darauf zu achten, dass die Luft nicht etwa Asche mit sich in den Brennmaterialraum hineinreissen kann, während die Form des Aschenfallraumes und der Windeinmündungsstellen, nach den früheren Erörterungen (vgl. S. 145 bis 152), den Effekt nur in sehr geringem Maasse beeinträchtigt.

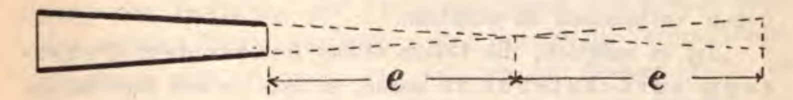
Soll die Pressluft von der Seite her in einen Raum eingeführt werden, so übersieht man, dass es dabei von grosser Wichtigkeit ist, dass der letztere in seiner ganzen Querschnittsausdehnung in möglichst gleichem Maasse von Pressluft erfüllt wird. Es ist hierzu erwünscht, dass die Energie des Luftstromes so wenig als möglich, bis zur Erreichung aller Stellen des Raumquerschnitts (in welchem die Einströmung erfolgt), geschwächt werde, was nur dann erzielt werden kann, wenn dem Luftstrom das Bestreben ertheilt wird, in einem geschlossenen Strahl zu verharren, dessen Querschnitt gewöhnlich um so kleiner sein muss, je grösser der Einfluss der diesem [illegible]reben entgegenwirkenden Verhältnisse und je grösser die [illegible]ung des Feuerraumquerschnittes (bezw. die Entfernung

einzelner Theile desselben von der Einmündung des Windstromes) ist.

Zu diesem Zweck ist es nothwendig, die gepresste Luft durch kurze sich nach einwärts verjüngende Mündungsstücke einströmen zu lassen und es empfiehlt sich deren Mündungsquerschnitt innerhalb gewisser Grenzen überhaupt möglichst klein und jedenfalls um so kleiner (und dafür die Anzahl der Windstrahlen um so grösser) zu wählen, je grösser der Widerstand und die Ausdehnung des Feuerraumquerschnittes und je höher die Temperatur der Feuergase ist, mit welchen der erhitzte Wind zusammentrifft. Immerhin kommt es dabei noch weit mehr auf gleichmässige Vertheilung der Windeinlässe als auf einige Millimeter mehr oder weniger grosse Weite der Mündung dieser Einlässe an, und zudem muss sich diese Mündung auch in gewissem Grade nach der Conicität der Einlässe richten.

Was nun diese Conicität betrifft, so ist zu beachten, dass man von einem Zusammenhalten des Luftstrahles günstigstenfalls nur innerhalb der doppelten Länge der von der Ausströmungsöffnung der Mündungsform bis zur Kegelspitze derselben bestehenden Entfernung (nach Figur 37 bis zur Entfernung $2e$ — wenn in der Entfernung e von der Mündung die Kegelspitze liegt) sprechen kann; dass aber der Wind-

Fig. 37.



strahl natürlich vorher schon wesentlich beeinträchtigt wird und um so weniger den ihn ausbreitenden Einflüssen zu widerstehen vermag, je geringer die Conicität der Mündungsform ist.

Erfahrungsgemäss darf die Abnahme der lichten Weite der conischen Mündungsform nach einwärts oder die Erweiterung derselben nach auswärts nicht weniger als 10 Prozent der Länge der Form

betragen und es erscheint auch im Allgemeinen unzweckmässig, diese Erweiterung mehr als 33 Prozent betragen zu lassen. Wenn also δ die Zunahme der lichten Weite des Mündungsstücks nach aussen und l die Länge desselben bezeichnet, so empfiehlt es sich im Allgemeinen die Beziehung

$$\delta \begin{matrix} > 0{,}10 \times l \\ < 0{,}33 \times l \end{matrix}$$

einzuhalten.

Man bezeichnet die Mündungsstücke für den gepressten Wind, insoweit sie der Zuleitung desselben angehören, in der Regel als „Düsen“ und die Oeffnungen, in welche diese Düsen eingelegt werden, als „Formen“.

Handelt es sich um Einführung von kaltem gepresstem Wind, so giebt man zwar den Formen eine sich an die Düsen anschliessende Gestalt, lässt aber zwischen beiden einen ringförmigen Zwischenraum frei, durch welchen der gepresste Wind vermöge seiner Energie noch äussere Luft ansaugt und mit sich fort in die Feuerungsanlage hineinreisst.

Handelt es sich dagegen um Einführung erhitzter Pressluft, so wird der Zwischenraum zwischen den Formen und den Düsen luftdicht abgeschlossen; man lässt aber dabei doch gerne zwischen beiden einen Hohlraum, welcher entweder von der äusseren Luft gekühlt oder von Kühlwasser bespült wird; oder man macht die Düsen hohlwandig und lässt durch ihren eigenen Hohlraum Wasser circuliren, um die Düsenmündung gegen Verbrennen zu schützen.

Ist es möglich, die Düsen etwas hinter dem Feuerraum zurückstehen zu lassen, so dass sie von der Flamme nicht berührt werden, wie dies in Fig. 1*) angedeutet ist, so sind andere Schutzmittel für dieselben entbehrlich; es empfiehlt sich aber, sie auch dann feuerbeständig, d. h. aus feuerfestem Thon oder aus künstlichem Magnesitstein, herzu-

V. Die Einrichtung der Zugmittel.

Nach den unter III dieses Abschnittes auf S. 157 u. s. f. angestellten Betrachtungen begünstigt jeder mit den Feuerzügen communicirende umwandete Raum, der sich über die Züge der Feuerungsanlage hinaus erhebt, oberhalb der letzteren eine nicht zu weite Oeffnung hat und im Innern höher temperirt ist als die äussere atmosphärische Luft, an anderer Stelle die Einströmung von atmosphärischer Luft in den Feuerraum und kann somit als Zugmittel für die Feuerungsanlage zur Geltung gelangen. Da man nun einem nur dem Zweck der Zugförderung dienenden Raum keine grössere Weite zu geben braucht als sie für die Hindurchleitung der Verbrennungsgase gerade erforderlich ist, so ergiebt sich als nächstliegendes Zugmittel die Anordnung von umwandeten Räumen von geringer Weite und mehr oder weniger grosser Höhe, durch welche man die Verbrennungsgase ins Freie leitet und die man als Zugesse, Kamin oder Schornstein bezeichnet.

Da man ferner weiss, dass ein Strahl von Wasser, Dampf oder Luft etc., welcher aus einer Röhre ausströmt, vermöge seiner Energie die in der Nähe der Mündung dieser Röhre befindliche Luft in seiner eigenen Bewegungsrichtung mit sich fortreisst, so ergiebt sich als zweites Zugmittel die Anordnung eines Rohres, welches in einem Verbrennungsgaszug liegend, ein Medium wie Luft, Dampf oder auch Wasser in der Richtung der Bewegung der Verbrennungsgase ausströmen lässt, damit dieses Medium, vermöge seiner Energie die Verbrennungsgase mit sich fortreisse und dadurch an anderer Stelle die Einströmung atmosphärischer Luft in die Feuerungsanlage begünstige. Man nennt ein solches Mittel „Strahlgebläse", oder auch einfach „Blasrohr" und unterscheidet je nach der Art des dabei zur Verwendung kommenden Mediums „Windstrahlgebläse", „Dampfstrahlgebläse", „Wasserstrahlgebläse" (auch das sogen. Wassertrommelgebläse gehört hierher) u. s. f.

Endlich kann man den Luftzug einer Feuerungsanlage auch dadurch fördern, dass man die Rauchgase ganz oder

theilweise maschinell (etwa vermittelst eines Ventilators) absaugt. Mit Hilfe dieses Mittels kann man zugleich einen Theil der unvollkommen verbrannten Gase mit der Verbrennungsluft in den Feuerherd zurückführen und der Verbrennung zugängig machen. Es muss indessen bemerkt werden, dass dem Zurückführen der Verbrennungsgase in den Feuerherd ein Trugschluss zu Grunde liegt; denn in dem Maasse, in welchem man solche Gase mit der Verbrennungsluft einführt, vermindert man die Einströmung dieser letzteren und begünstigt demnach wiederum die Erzeugung unverbrannter Rauchgase. Wird in einzelnen Fällen wirklich ein Nutzen durch theilweise Zurückführung der Verbrennungsgase erzielt, so kann dies nur dann vorkommen, wenn man diese Gase unmittelbar in den Mischraum einbläst und dadurch die Mischung der Feuergase mit der Verbrennungsluft begünstigt. Also nur da, wo diese Mischung vorher mangelhaft erfolgte, mag vielleicht ein Nutzen aus dem theilweisen Zurückführen der Verbrennungsgase erzielt werden, jedenfalls aber bleibt ein hieraus entspringender Nutzen noch sehr fraglich und würde man sicher einen besseren Erfolg erzielen, wenn man anstatt der Verbrennungsgase Luft in den Mischraum einblasen würde. Vielleicht aber besteht der ganze Nutzen, den die Anwendung eines Ventilatorgebläses in einzelnen Fällen angeblich gewährt, darin, dass das Gebläse den Zug der Feuerungsanlage verbessert und dass diese Zugverbesserung durch die Zurückführung eines Theiles der Verbrennungsgase nicht **ganz** vernichtet wird. Näher auf die maschinellen Zugmittel einzugehen, ist hier nicht erforderlich, da ihr Nutzen durch die beiden vorher erwähnten Zugmittel bei weitem übertroffen wird und man deshalb nur in vereinzelten Ausnahmefällen in die Lage kommen wird ihre Anwendung empfehlen zu können.

Die Kamineinrichtung.

Nachdem die lichte Weite und die Höhe des Kamins nach den unter III (Seite 161 bis 164) angestellten Betrachtungen bestimmt sind, hat man in erster Linie das Mate-

rial, die Stabilitätsverhältnisse und beziehentlich die Wanddicke des Kamins in Erwägung zu ziehen. Als Material wählt man allgemein Mauerung für dauernd zu gebrauchende und dünnes Eisenblech für provisorisch oder nicht dauernd zu gebrauchende Kamine.

Die eisernen Kamine stellt man auf gemauerte Sockel auf und sichert ihre Stabilität in der Regel durch Drähte, Drahtseile oder Ketten, welche man zwischen geeigneten Angriffsstellen des Kamins und unverrückbar festliegenden Theilen benachbarter Baulichkeiten oder festverankerten Pfählen verspannt.

Die geringe Wanddicke der gewöhnlicheren eisernen Kamine und die grosse Wärmeleitungsfähigkeit ihres Materials beeinträchtigen die Temperatur der im Kamine aufsteigenden Gase und damit auch den Zug ganz erheblich (wie gross der Einfluss der Wanddicke auf die Abnahme der Gastemperatur im Kamin gegen dessen Wandung hin ist, wurde auf S. 110 bis 112 an Beispielen gezeigt); es ist deshalb nöthig den eisernen Kaminen **andere Dimensionen** als den dickwandigeren gemauerten Kaminen zu geben, um gleiche Zugwirkung zu erzielen.

Inwieweit die Dimensionen anders gewählt werden müssen, kann man aus Formel (9)*) entnehmen, welche die Wärmedurchlässigkeit gutleitender dünner Wände ergiebt. Man ersieht aus dieser Formel ohne Weiteres, dass, weil α kleiner ist als 1, der Werth von α^e umso kleiner ist, je grösser der Exponent e, d. i. je grösser die lichte Weite des Kamins ist; da ausserdem auch nach den Erläuterungen zur Formel (Ia) (siehe Seite 161 bis 164) der Einfluss der lichten Weite auf die Zugwirkung weit grösser ist als derjenige der Höhe des Kamins, so ist zur Verbesserung der Zugwirkung eiserner Kamine deren lichte Weite grösser zu wählen, als diejenige gemauerter Kamine.

Ein rechnerischer Vergleich ergiebt, dass der Wärmeverlust durch gewöhnliche eiserne Kamine gegenüber gemauerten Kaminen von 250 mm Wanddicke um 10 Prozent

*) Siehe S. 107.

grösser, gegenüber gemauerten Kaminen von 500 mm Wanddicke um 50 Prozent und gegenüber gemauerten Kaminen von 750 mm Wanddicke um 110 Prozent grösser ist. Gegenüber dem Wärmeverlust gemauerter Kamine von 125 mm Wanddicke ist derjenige eiserner Kamine nur um so wenig grösser, dass man die ersteren Kamine unbedenklich durch gleichweite und gleichhohe eiserne Kamine ersetzen kann.

Um den verschiedenen Wärmeverlust-Differenzen Rechnung zu tragen, empfiehlt es sich den lichten Querschnitt der gewöhnlicheren eisernen Kamine jeweils diesen Differenzen proportional grösser zu nehmen, als denjenigen eines gleichwerthigen gemauerten Kamins.

Nimmt man an, dass die Wandstärke der gemauerten Kamine in bestimmtem, noch näher zu besprechendem, mittlerem Verhältniss zur Höhe derselben zunimmt, so ergeben sich für die erwähnte Querschnittserweiterung der gewöhnlichen eisernen Kamine die in der folgenden Tabelle verzeichneten Beziehungen des inneren Durchmessers D derselben zum Durchmesser D_0 des lichten kreisförmigen Querschnitts und zur Seitenlänge D_0' des lichten quadratischen Querschnitts eines gleichwerthigen gemauerten Kamins.

Tabelle XIII.

Kaminhöhe in Metern	
bis 4	. . $D = 1{,}00 \,.\, D_0 = 1{,}13 \,.\, D_0'$
4 „ 12	. . $D = 1{,}05 \,.\, D_0 = 1{,}18 \,.\, D_0'$
12 „ 18	. . $D = 1{,}075 \,.\, D_0 = 1{,}21 \,.\, D_0'$
18 „ 24	. . $D = 1{,}125 \,.\, D_0 = 1{,}27 \,.\, D_0'$
24 „ 36	. . $D = 1{,}175 \,.\, D_0 = 1{,}33 \,.\, D_0'$
36 „ 50	. . $D = 1{,}235 \,.\, D_0 = 1{,}39 \,.\, D_0'$

Construktion der gewöhnlichen eisernen Kamine
darüber speciell zu bemerken, dass man die
welchen sie zusammengesetzt werden, derart
nder zu fügen hat, dass die höheren Schüsse
hst unteren überdecken, damit der Regen an
wagerechte Fugen eindringen kann und damit
ı den aufsteigenden Verbrennungsgasen keine

Vorsprünge darbieten, an welchen sie anstossen würden. Die lichte Weite ist, soweit sie nicht durch grössere Dicke der unteren Bleche modificirt wird, bei allen Schüssen die gleiche, so dass der Kamin im Ganzen cylindrisch erscheint.

Die Blechdicke der Schüsse ist umso grösser zu nehmen, je grösser der Durchmesser des Kamins und je höher der Aufbau über den betreffenden Schüssen ist. Der Sockel ist immer aus stärkerem Blech, niemals unter $3^1/_2$ mm aber bis zu 10 mm zu wählen. Für die oberen Schüsse, bis zu einer Höhe von 5 m vom oberen Ende gerechnet, genügt eine Blechdicke von $2^1/_2$ bis $3^1/_2$ mm so lange der Kamindurchmesser nicht grösser als 0,5 m ist; bei grösserem Durchmesser geht man bis zu 6 mm (in der Regel aber nicht über 5 mm) Dicke. Für Schüsse, welche mehr als 5 m vom oberen Kaminende entfernt sind, wählt man eine Blechdicke von $3^1/_2$ bis 7 mm, je nach dem Durchmesser und der Entfernung von oben.

Um ein federndes oder bleibendes Breitdrücken der Schüsse durch den Wind zu verhüten, müssen diese in Höhenabständen von mindestens 2 m bei höchstens 3 m Abstand vom Sockel, durch Ringbänder versteift werden, welche mindestens in Abständen von je 4 m aus Winkeleisen, sonst aber auch aus Flacheisen herzustellen sind. Das letztere muss mindestens um 4 mm dicker als die obersten Schüsse des Kamins und, bei minimaler Dicke, etwa 3mal so breit als dick sein. Damit die Ringbänder dem Regenwasser keine Ablagerungsstellen in den Fugen zwischen ihnen und den Kaminschüssen darbieten, sind sie von diesen durch dazwischengefügte Blechstückchen, am besten in runder Scheibenform zu trennen. Die Verbindungsgerade zwischen der äusseren Kante des obersten Schusses und der äussersten Kante des aus Winkeleisen bestehenden Ringbandes muss, aus später zu erwähnenden Gründen, mit der wagerechten Richtung einen Winkel von mindestens 30 Grad bilden.

Wo passende Wasserleitungs- und Gasröhren hinreichend billig zur Verfügung stehen, sind diese natürlich den obenerwähnten aus Blechschüssen hergestellten Kaminen bei weitem vorzuziehen, weil sie eine wesentlich grössere Wanddicke

haben; ihres grossen Gewichtes wegen ist aber ihre Anwendung für provisorischen Gebrauch nur für mässige Kaminhöhe empfehlenswerth, da ihre Montirung in grosser Höhe zu kostspielig ist. In geschützter Lage können Kamine, welche aus solchen Röhren hergestellt werden, auch für dauernden Betrieb empfohlen werden.

Die gemauerten Kamine bestehen in der Regel aus gewöhnlichen Ziegelsteinen und Kalkmörtel und nur wenn die Temperatur der durch sie entweichenden Gase mehr als 300° C. beträgt, wie es z. B. bei Flammöfen noch vielfach der Fall ist, müssen sie unbedingt ein Futter aus feuerfesten Steinen erhalten, die auch mit feuerfestem Mörtel zu vermauern sind.

Bei der Wahl der Querschnittsform des gemauerten Kamins sind verschiedene Gesichtspunkte maassgebend.

Gewöhnlich wird die runde Form des lichten Querschnitts sowohl hinsichtlich des Reibungs-Widerstandes, den die Verbrennungsgase an der Wandung erleiden, als auch hinsichtlich der Abkühlungsflächengrösse als die vortheilhafteste bezeichnet; in Wirklichkeit beruht jedoch diese Angabe, sowie auch die Behauptung, dass die Verbrennungsgase sich im Kamin *fortwährend drehen* und dass die eckige Querschnittsform die Drehbewegung verhindere, auf *Irrthum*. *Der Reibungswiderstand ist*, wie unter III dieses Abschnitts dargelegt wurde, *in Kaminen, welche quadratischen Querschnitt haben, genau ebenso gross wie in Kaminen von kreisförmigem Querschnitt. Die Abkühlung der Verbrennungsgase erfolgt vorzugsweise durch Strahlung* und diese ist umso geringer, je grösser die Entfernung des heissesten Striches der Verbrennungsgase von der Wand ist, bei dem kreisförmigen Querschnitt sind alle Punkte der Wand von diesem Striche gleichweit entfernt, bei dem quadratischen sind die Eckpunkte viel weiter von dem heissesten Striche der Gase entfernt als die anderen Punkte und was diese an Wärmestrahlen mehr aufnehmen, nehmen jene weniger auf; es erscheint deshalb auch in dieser Hin-[illegible] mindestens fraglich, ob der quadratische Querschnitt dem

kreisförmigen erheblich an Werth nachsteht. Endlich ist die Behauptung bezüglich des Drehens der Verbrennungsgase im Kamin unbegründet und auf Missverständniss beruhend; die Verbrennungsgase bewegen sich im heissesten Strich rascher als an den Wänden, die hier befindlichen werden aber von den nachdrängenden heisseren Gasen in den heissesten Strich mit hineingerissen und es entsteht demzufolge eine Art wallender Bewegung, die in einem Kamin von quadratischem Querschnitt genau ebenso vor sich gehen kann, wie in einem Kamin von kreisförmigem Querschnitt. Aus diesen Gründen muss, so lange gegentheilige Erfahrungsresultate nicht vorliegen (und diese liegen in der That nicht vor), angenommen werden, dass der Nutzeffekt der in quadratischem Querschnitt aufgeführten Kamine nicht geringer ist, als der in kreisförmigem Querschnitt aufgeführten. Die Erfahrung lehrt auch, dass sehr viele sehr tüchtige Ingenieure, die auf Brennmaterialersparniss ein sehr grosses Gewicht legen, unbedenklich ziemlich hohe Kamine in quadratischem Querschnitt aufführen lassen und, trotzdem sie wissen, dass diese in Büchern verpönt sind, keinen Grund finden ihre Maassnahme gelegentlich nicht wiederholen zu sollen.

Ein wesentlicher Vortheil der Wahl des quadratischen Querschnitts besteht darin, dass Kamine solchen Querschnitts weit leichter und rascher hergestellt werden können, als Kamine von kreisförmigem und achteckigem Querschnitt; dagegen kommt bei sehr grosser Höhe wesentlich das überschüssige Material der Ecken in Betracht, weshalb es im Allgemeinen vorzuziehen ist, Kamine von mehr als 16 Meter Höhe in achteckigem oder in kreisförmigem Querschnitt aufzuführen und im letzteren Falle immer besondere Formsteine zu verwenden.

Die Verwendung gewöhnlicher Ziegelsteine bedingt die Nothwendigkeit, die Wanddicke der Kamine in Steinlängen oder in Steinbreiten, d. i. in sogen. ganzen Steinstärken und halben Steinstärken, auszuführen. Nach dem deutschen Normalmaass beträgt die ganze Steinstärke 250 mm und die halbe Steinstärke 125 mm. Bei besonderen Formsteinen rechnet man auch noch Viertel-Steinstärken zu 65 mm.

Eine halbe Steinstärke wird nur bis zu 4 m Höhe und in der Regel nur für Kaminweiten bis zu 0,5 m angewendet. Bei grösserer Höhe lässt man die Mauerdicke für je 6 bis 10 Meter Höhe von oben gemessen um je eine halbe Steinstärke, bei Formsteinen wohl auch für je 3 bis 5 m um je eine Viertel-Steinstärke, zunehmen (und zwar in umso kürzeren Abständen, je höher die Temperatur der Gase ist, so dass man bei 50 m Kaminhöhe über dem Sockel hier wenigstens 3 Steinstärken (mit Fugen gerechnet 770 mm) als Mauerdicke erhält.

Da man die lichte Weite der Kamine nach oben hin nicht zunehmen lässt, so ergiebt sich von selbst eine Verjüngung der Aussenform des Kamins von unten nach oben, welche für die Stabilität nothwendig ist.

Die durch die Abnahme der Wanddicke bedingten Abstufungen der Mauerung verlegt man entweder in das Innere der Mauer selbst, die man dementsprechend mit Hohlräumen versieht, oder ins Innere des Kamins, indem man dieses hier, wie Fig. 38 erkennen lässt, in einzelnen schwachconischen Abtheilungen ausführt, deren obere lichte Weite jeweils die gleiche ist, *soferne die Stabilität nicht auch eine allmähliche Abnahme der lichten Weite der oberen Abtheilungen gegenüber den unteren bedingt*, in welch' letzterem Falle man, unter Beibehaltung aller aufgezeichneten Wandstärken, die untere lichte Weite so lange vergrössert, als es für genügende Stabilität erforderlich ist.

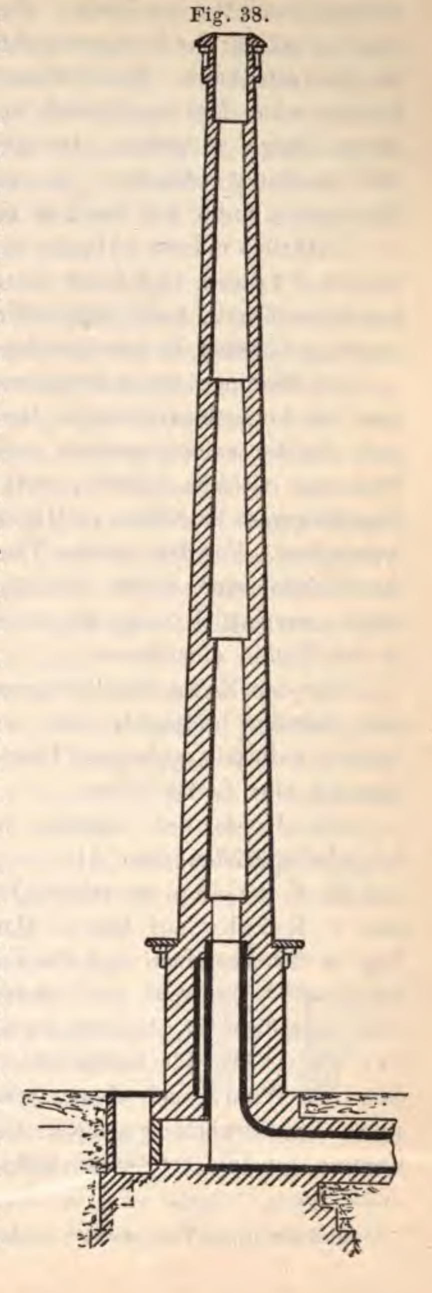
Den in Mauerung aufzuführenden Kamin setzt man wie den in Eisen herzustellenden auf einen Sockel, in welchen man auf einer Seite die Verbrennungsgase einströmen lässt, während man an der gegenüberliegenden Seite eine Einsteigöffnung vorsieht, die mit einer dünnen leicht auszubrechenden Mauer für die Betriebsdauer zu verschliessen ist.

Den Zuströmungscanal der Verbrennungsgase nennt man en *Fuchs*. Den Uebergang desselben in den Kaminzug hat nan zweckmässigerweise gut *abzurunden*, um den Umegungswiderstand zu vermindern; eine *starkansteigende* lebergangs-Curve ist dabei *nicht* anzuwenden, weil dieselbe ten Uebergang beschleunigt und demzufolge den Umbiegungs-

widerstand erhöht (vgl. die Untersuchungen auf S. 146 bis 151).

Münden mehrere Füchse in einen Kamin ein, so versteht es sich von selbst, dass deren Gasströme, so lange sie nicht gleiche Bewegungsrichtung haben, durch **dazwischen gemauerte Zungen getrennt** sein müssen, damit die Gasströme nicht gegen einanderstossen und ihre Bewegung gegenseitig hemmen. Bei dieser Maassnahme ist es aber wichtig, auch noch auf einen anderen Umstand als den der verschiedenen Bewegungsrichtungen der Gasströme zu achten, nämlich darauf, dass diese Gasströme oft auch sehr **verschiedene Temperaturen** besitzen und dass es sich empfiehlt, den kühleren Gasstrom möglichst weit vorzuerhitzen bevor er sich mit dem heisseren vermischt, weil er sonst die Zugwirkung wesentlich vermindert. Um eine solche Vorerhitzung zu bewirken, genügt es erfahrungsgemäss beide Gase eine Strecke weit an einer gemeinschaftlichen von den heisseren Gasen erhitzten dünnen Mauer

Fig. 38.



entlang streichen zu lassen; dieselbe muss aber umso länger sein, je grösser die Temperaturdifferenz zwischen beiden Gasen ist oder sein kann. Es ist demnach den vorstehend erwähnten Zungen eine für den zuletzt erwähnten Zweck hinreichend grosse Länge zu geben. Ist die weniger erhitzte Gasart um 100⁰ niedriger temperirt, so empfiehlt es sich die Zungenlänge nicht unter 1,5 bis 2 m zu nehmen.

Natürlich müssen alle an einen Kamin angeschlossenen Füchse für sich einzeln abschliessbar sein, damit der Kamin nicht gelegentlich aus einer ungeheizten nach aussen geöffneten Feuerungsanlage kalte Luft ansauge.

Bei Kaminen von sehr grosser Höhe, deren Abmesssungen man der Anlagekosten wegen thunlichst zu beschränken sucht, sind allseitig nach aussenhin abgeschlossene Hohlräume in der Wandung vielfach beliebt, weil sie die Abkühlung der Verbrennungsgase im Kamin zu Gunsten der Zugwirkung desselben vermindern. Für den unteren Theil des Kamins (einschliesslich des Sockels) sind solche Hohlräume auch immer empfehlenswerth; namentlich wenn die Gase mit sehr hoher Temperatur in den Kamin einströmen.

Für den Zweck der Reinigung und Reparatur des Kamins muss derselbe besteigbar sein, weshalb man in der Regel im Inneren U-förmig gebogene Eisenstäbe anbringt, welche miteinander eine Leiter bilden.

Am Kopfe der Kamine bringt man gewöhnlich aus Schönheitsgründen eine Art Capitäl an. Demselben wird von H. v. Reiche ein schädlicher Einfluss zugeschrieben, indem v. Reiche auf Dr. C. Huber's Versuche „über den Zug in Schornsteinen und die Einwirkung der Witterung auf denselben"*) hinweist und hierzu eine Erklärung giebt, die wohl zutreffend ist, die aber die schädliche Einwirkung der Capitäle nur beschränkt beweist. Thatsache ist aber, [illegible] der Wind, auch dann wenn keine Capitäle vorhanden [illegible] bei abwärts geneigter Richtung in nicht überdeckte [illegible] hineinblasen kann und dass auch an einem ohne

*) Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1870, Bd. XIV. H. 6. S. 383.

Capitäl ausgeführten Kamin ein Luftstrom in die Höhe streicht, welcher durch den über dem Kamin hinwegströmenden Wind (in Wirbeln) in dessen Ausmündung hineingedrückt werden kann und es ist auch Thatsache, dass abwärts gehende Rauchwirbelungen, namentlich bei feuchter Witterung, sehr häufig ebenso bei Kaminen, welche kein Capitäl besitzen wie bei Kaminen, die ein solches besitzen, bemerkbar sind.

Behält man diese Thatsachen im Auge, so kann der nachtheilige Einfluss der Capitäle, der sich ohnehin nur bei grosser Weite des Kaminendes (gleichviel ob die Ausladung des Capitäls sehr gross ist oder ob die Kaminmündung selbst gross und die Capitälausladung mässig ist) bemerkbar macht, als besonders schwerwiegend nicht erachtet werden, wohl aber ergiebt sich aus der Beachtung dieser Thatsachen die Zweckmässigkeit Kamine von grosser Weite mit **Windablenkern** zu überdecken, welche zudem bei geeigneter Construktion auch die Fähigkeit des Windes saugend wirken zu können, am besten zur Geltung bringen können, wenn man auf diese Saugfähigkeit Werth legt.

Derartige Windablenker, auch Rauchsauger und Luftsauger genannt, habe ich in meiner Schrift „Die Lüftungsanlagen“ so ausführlich besprochen, dass ich hier nicht näher darauf einzugehen brauche; ich will deshalb nur bemerken, dass man einen sehr einfachen und dabei (wenn man der Saugfähigkeit des Windes, wie ich, keinen Werth beilegt) auch durchaus genügenden Windablenker in einem einfachen Blechdach (vergl. Fig. 39) erhält, dessen Dachfläche unter 15 Grad gegen die wagerechte Ebene geneigt, in genügendem Abstand über der Kaminmündung angebracht, diese soweit überragt, dass die Verbindungsgrade zwischen ihrer Aussenkante und der Innenkante der Kaminmündung mit der wagerechten Ebene wiederum einen Winkel von 15 Grad bilden. Bei solcher Einrichtung kann auch niemals Regen gegen die Innenfläche des Kamins schlagen. Eine auf dem Schutzdach

Fig. 39.



angebrachte Eisenstange als Blitzableiterauffangstange vollendet die Ueberdeckung. Die von der Stange abwärts führende Leitung muss vom Fusse des Kamins aus möglichst 1 bis 2 m seitwärts bis unter den niedrigsten Grundwasserspiegel in die Erde oder in einen Brunnen verlegt werden.

Damit das Capitäl des Kamins die **Abwärtsströmung** der entweichenden Verbrennungsgase nicht hemmt, ist zu empfehlen seine Deckfläche so weit als möglich abzuschrägen und zwar, wenn es sich, ohne allzugrosse Massigkeit des Capitäls mit in den Kauf zu nehmen, thun lässt, derart, dass seine Deckfläche mit der wagerechten Ebene einen Winkel von mindestens 30 Grad bildet.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Stabilität des Kamins unter stärkst vorkommendem Winddruck.

Dabei kommt in erster Linie die Tragfähigkeit des Fundaments und in zweiter Linie die Stabilität jedes einzelnen Theiles des Kamins für sich in Betracht.

Was zunächst diese letztere betrifft, so ergeben sich die allgemeinen Stabilitätsbedingungen wie folgt:

Fig. 40.



Bezeichnet F die Gesammtfläche des voll gedachten senkrechten Höhenschnittes des Kamins in der Richtung seiner grössten Breite von oben bis zu irgend einem Querschnitt (etwa *BB* in Fig. 40) und *e* die grösste wagerechte Entfernung jenes Höhenschnittes von der äusseren Kante dieses Querschnittes; bezeichnet ferner *h* die senkrechte Entfernung dieses Querschnitts von dem Druckmittelpunkt des auf dem in Betrachtung stehenden Kaminstück lastenden Winddrucks (d. i. von dem Schwerpunkt (*S*) der Fläche F) und G das Gewicht dieses Kaminstückes, so muss, wenn p der auf je 1 qm bezogene Winddruck ist und ϱ einen noch näher zu bestimmenden Coefficienten bezeichnet, der höchstens gleich 1 ist, das Produkt $\varrho \times p \times F \times h$ grösser sein das Produkt $G \times e$. Aus der Ungleichheit

$$\varrho \times p \times F \times h < G \times e$$

folgt aber

$$e > \varrho \times \frac{p \times F \times h}{G}$$

Nach v. Reiche ist für Kamine von quadratischem Querschnitt $\varrho = 1$, für solche von sechseckigem Querschnitt $\varrho = 0{,}75$, für solche von achteckigem Querschnitt $\varrho = 0{,}65$ und für solche von kreisrundem Querschnitt $\varrho = 0{,}5$ in Rechnung zu setzen.

Nach Weisbach soll der stärkste in unserer Gegend vorkommende Winddruck 127 Kgr. und nach Rankine der stärkste in Glasgow vorkommende Winddruck 269 Kgr. pro Quadratmeter ebener, senkrecht zur Windrichtung stehender Fläche betragen. Gleichwohl empfiehlt v. Reiche, mit Rücksicht darauf, dass wiederholte Stösse gefährlicher wirken als constanter Druck, allgemein $p = 300$ Kgr. in Rechnung einzuführen. In der That wird die Einsetzung dieses Werthes für unsere Gegend sehr sichere Rechnungsergebnisse liefern, zumal die Bindekraft des Mörtels bei der Ungleichung für e gar nicht in Betracht gezogen ist.

Für Kamine die an Seegestaden aufgestellt sind, ist jedoch, weil dieselben bei grosser Höhe fortwährend in Schwingungswechsel begriffen sind, mindestens ein doppelt so grosser Druck für die Sicherheit in Rechnung zu setzen, so dass man also allgemein

	für Mitteleuropa	für Küstenländer
für quadratischen Kaminquerschnitt	$e > \frac{F \times h}{G} \times 300$	$e > \frac{F \times h}{G} \times 600$
für achteckigen Kaminquerschnitt	$e > \frac{F \times h}{G} \times 195$	$e > \frac{F \times h}{G} \times 390$
für kreisförmigen Kaminquerschnitt	$e > \frac{F \times h}{G} \times 150$	$e > \frac{F \times h}{G} \times 300$

für die Prüfung der Stabilitätsverhältnisse der Kamine zu benutzen hat.

Was die Fundamentirung der Kamine betrifft, so ist zu bemerken, dass der tragfähigste sogen. gewach-

sene (nicht aufgeschüttete) Boden nicht stärker als mit 25000 Kgr. pro Quadratmeter belastet werden darf und dass man das Gewicht des Kamins der Sicherheit halber (wegen den Windstössen) in unserer Gegend mindestens $1^1/_2$fach, für Küstenländer aber verdoppelt in Rechnung zu bringen hat.

Nach diesen Angaben ist man in der Lage, die nothwendige unterste Stützfläche des Kaminfundamentes zu bestimmen, wenn man das Gewicht eines Kubikmeters Ziegelmauerwerk zu 160 Kgr., das eines Kubikmeters Sandsteinmauerwerk (aus welchem häufig der Sockel besteht) zu 210 Kgr. und das eines Kubikmeters Bruchstein (Fundament-Mauerwerk) zu 240 Kgr. veranschlagt.

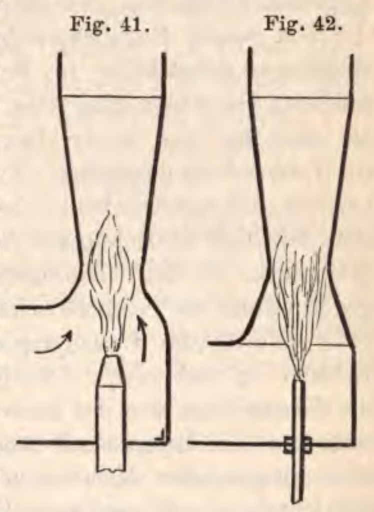
Zum Schutz gegen Frost muss das Fundament wenigstens 0,9 bis 1,0 m unter die Erdoberfläche herabreichen, jedenfalls aber auf genügend widerstandfähigem Boden lasten.

Hierzu ist zu bemerken, dass steiniger gewachsener Boden eine Mächtigkeit von wenigstens $2^1/_2$ bis 3 m, Sand eine Mächtigkeit von 4 bis 6 m haben und dass Thon-, Lehm- und Mergelgrund bei einer Mächtigkeit von $2^1/_2$ bis 3 m absolut trocken sein muss. Boden der letzteren Art kann nöthigenfalls durch Eindämmung (Steinwurf, Pfahlreihen, Spundwand) tragfähig gemacht werden.

Nachgebender Baugrund muss zuerst festgeschlagen, sodann 1 bis 1,25 m hoch je in Lagen von 0,3 m Höhe mit Bauschutt beschüttet und dieser jedesmal fest eingerammt werden; andernfalls kann man Betonirung (aus scharfem Kies, Sand und Cement) in einer Dicke von 0,6 bis 1 m Höhe in einer die sonst nöthige Fundamentsohle mindestens um das Doppelte überschreitenden Ausdehnung anwenden, nachdem nöthigenfalls ringsum Spundwand geschlagen ist. Aufgeschütteter Boden muss entweder entfernt oder in noch grösserer Ausdehnung mit einer Betonschichte überdeckt werden, welche in geeigneter Weise sicher zu begrenzen ist.

Das Blasrohr.

Das Blasrohr tritt gewöhnlich in Gebrauch, wenn man aus irgend welchem Grund behindert ist Kamine von hinreichender Zugfähigkeit anzuwenden. Es ist ein ausserordentlich bequemes Mittel, wenn man ein gespanntes gasförmiges Medium, insbesondere Dampf zur Verfügung hat. Um an frischem Dampf zu sparen, benutzt man, beispielsweise bei Lokomotiven während der Fahrt, Abdampf der Maschinen (und nur beim Abfahren frischen Dampf). Natürlich kann man nur den Abdampf von solchen Maschinen benutzen, welche nicht mit Condensation arbeiten; denn der aus dem Condensator entweichende Wrasen besitzt nicht mehr die zur Zugverstärkung nöthige mechanische Energie. Zweckmässig, jedoch nicht unbedingt nöthig, ist es, den Querschnitt des Blasrohres, sowie den des Verbrennungsgaszuges über der Mündung des Dampf- oder Gas-Blasrohres (vgl. Fig. 41 u. 42), stark einzuengen und den Querschnitt des Verbrennungsgaszuges dann allmählich wieder zu erweitern, weil hierbei die mechanische Zugwirkung wesentlich verbessert wird. Allerdings wird damit auch der Widerstand den das blasende Medium zu überwinden hat, etwas erhöht; denn bei Verwendung des Abdampfes einer Maschine wächst der Gegendruck derselben von 1,25 auf 1,33 Atmosphären, was bei Maschinen, welche mit Dampf von nur 5 Atmosphären oder noch niedrigerer Admissionsspannung arbeiten, schon wesentlich ins Gewicht fällt.


Fig. 41. Fig. 42.

Will man einen **Wasserstrahl zur Beförderung des Zuges** benutzen, so empfiehlt es sich dies in einem abwärtsgeführten oder in einem an abwärtsführenden Ablauf sich anschliessenden wagerechten Zug zu thun, die Gase aber

sodann wieder aufwärts strömen zu lassen und das in dünnem sich zerstäubendem Strahl einzuführende Wasser vorher zu erhitzen. Man kann durch dieses Mittel auch die Rauchgase von Russ und Flugasche befreien. Noch weiter auf derartige Einrichtungen einzugehen, dürfte entbehrlich sein.

VI. Luftzug-Regulirvorrichtungen.

Zu den Luftzug-Regulirvorrichtungen gehören die allgemein bekannten Rauchschieber und die in kleineren Feuerungsanlagen häufig gebräuchlichen Drosselklappen. Ausserdem gehören hierzu die sogen. Register-Schieber in Heizthüren, die Aschenfallverschlüsse und andere Luftabsperrvorrichtungen.

Um solche Regulirvorrichtungen unter bestimmten Verhältnissen selbstthätig in Bewegung zu setzen, sind seit mehreren Decennien zahlreiche Einrichtungen erfunden worden, die aber bei uns in der Regel nur in beschränkter Anzahl zur Verwendung gelangten. Nur bei Kesselanlagen für Centralheizung (insbesondere bei solchen für Niederdruckdampfheizung) sind derartige Einrichtungen auch bei uns mehr in Gebrauch gekommen. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika dagegen waren, nach einem Berichte Radingers schon im Jahre 1876 selbstthätige Luftzugregulatoren bei Dampfkesselanlagen vielfach in Gebrauch. Dieselben bestanden damals zumeist im Wesentlichen aus der Belastung eines Gewichtshebels einerseits und dem Dampfdruck (übertragen durch Wasser) andererseits ausgesetzten Membranen, deren Bewegung durch den Gewichtshebel und geeignetes Gestänge auf eine Rauch-Drosselklappe übertragen wurde.

Was die Construktion der Rauchschieber und der Drosselklappen und sonstiger Verschlussvorrichtungen für Rauchgas- und Luftwege betrifft, so braucht darauf hier nicht näher eingegangen zu werden, da sie als hinreichend bekannt vorausgesetzt werden kann und auch von untergeordneter Bedeutung ist.

Von grösserer Wichtigkeit ist **die Construktion der Heizthür.** Sofern dieselbe nach aussen geöffnet wird, soll sie nach H. von Reiche als einflügelige Thür höchstens bis 0,366 m breit und bis 0,33 m hoch gemacht werden, während sie als zweiflügelige Thür höchstens bis zu 0,55 m breit und bis zu 0,366 m hoch sein darf.

Um die Abkühlungsfähigkeit der Heizthüren möglichst zu beschränken und dieselben zugleich der Gefahr des Verbrennens zu entziehen, sind dieselben für grössere Feuerungsanlagen im Innern entweder mit schmiedeisernen oder gusseisernen Schutzplatten in einem Abstand von 60 bis 100 mm mittels Stehbolzen zu verbinden, oder rahmenförmig (vergl. Fig. 43) in der Weise zu construiren, dass sie mit leichten schlechtleitenden Steinen oder mit Magnesitplatten verkleidet werden können, wobei zwischen ihnen und ihrer Verkleidung ein Luftraum von 20 bis 50 mm frei zu bleiben hat; auch kann die Thür selbst mit schmalen Schlitzen oder mit zahlreichen kleinen Löchern versehen werden, welche Schlitze oder Löcher durch Schieber verdeckbar zu machen sind.

Fig. 43.

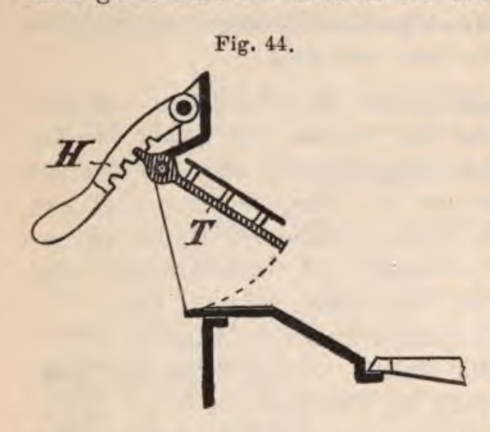
Für Zimmeröfen und sonstige kleine Feuerungsanlagen sind Doppelthüren mehrfach in Gebrauch und bei Einzelbewegung zweckmässig befunden; es ist aber hier wie bei den grösseren Feuerungsanlagen dafür zu sorgen, dass die Brennmaterialaufschüttung der Heizthür nicht zu nahe gebracht werden kann.

Um beim Aufgeben frischen Brennmaterials ein rascheres Oeffnen und Schliessen der Thür bewirken und dadurch das Eindringen von Luft durch die geöffnete Thür auf ein Minimum beschränken zu können, ist die Ashcroft'sche Einrichtung zu empfehlen, bei welcher die Thür *T* in wagerecht liegenden Angeln hängt und einwärts drehbar ist (vergl. Fig. 44 S. 214), wobei sie durch einen gezahnten Hebel *H*, welcher über ihr hängt, in jeder Stellung festgehalten werden kann. Der Heizer stösst dann einfach die Thür mit der Schaufel auf, wirft das Brennmaterial auf und schlägt sodann einfach den gezahnten

Hebel in die Höhe, um die Thür zu veranlassen, sich vermöge ihres Eigengewichts wieder zu schliessen.

Bei solcher Einrichtung kann die Heizthür breiter als sonst genommen und dadurch das Ausbreiten des Brennmaterials über einen grossen Rost wesentlich erleichtert und demzufolge auch rascher erledigt werden.

Fig. 44.

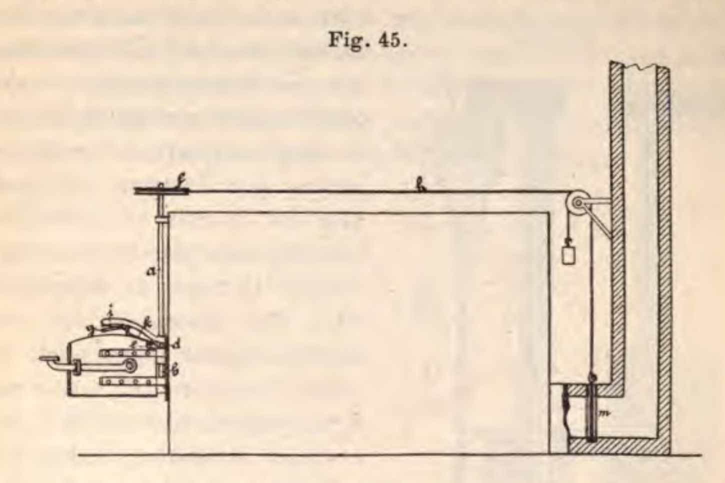


Wie schon früher erwähnt wurde, ist es zu empfehlen den Rauchschieber theilweise zu schliessen, bevor man die Heizthür öffnet und ihn nach wieder erfolgtem Abschluss der letzteren sofort wieder zu öffnen, und es wurde auch bereits erwähnt, dass man das Schliessen des Rauchschiebers gleichzeitig mit dem Oeffnen der Heizthür und umgekehrt bewirken könne, wenn man diese beiden Organe in geeigneter Weise zwangläufig miteinander verbindet. Dabei muss die Verbindung aber in der Weise bewirkt werden, dass man sie auch leicht lösen kann, wenn es nothwendig ist den Rauchschieber auch ohne die Heizthür zu bewegen, verstellen zu können. Eine Einrichtung, welche diesen Anforderungen entspricht, ist in Figur 45 dargestellt.

Eine Welle *a*, welche eine Kettenscheibe *f* trägt, ist lose auf die Thürangel aufgesetzt, mit der Thür aber durch einen Sperrkegel (Sperrklinke) *e*, welcher in ein auf der Welle *a* aufgekeiltes Zahnrad eingreift, verkuppelt. Diese Verkuppelung kann gelöst werden, wenn man den Winkelhebel *g* gegen den Handhebel *i* und dadurch den Sperrkegel *e* (mittels der am Winkelhebel *g* angehängten Zugstange *k*) anzieht. An dieser Einrichtung, welche patentirt ist, ist zweifellos der Handhebel *i*, der Winkelhebel *g* und die Zugstange *k* entbehrlich, da der Sperrkegel in einfacherer Weise aus- und eingerückt werden

kann, wenn man an dem Sperrkegel selbst einen Handgriff und einen einfachen Riegel (wozu ein unter schwachem Feder-

Fig. 45.



druck stehender Stift, der am Herausfallen gehindert ist, schon genügt) anbringt.

Was die Construktion von **selbstthätigwirkenden** Luftzug-Regulirvorrichtungen betrifft, so muss ich mich hier darauf beschränken, die Principien zur Ermittelung geeigneter Einrichtungen solcher Vorrichtungen in Kürze zu erläutern, da die Anzahl der bisher aufgetauchten Construktionsarten so gross ist, dass deren Anführung den Rahmen einer kurzen Besprechung überschreiten würde.

Man benutzt als regelnde Kraft den Druck eines durch Erhitzung mehr oder weniger gespannten oder eines durch Erhitzung mehr oder weniger sich ausdehnenden Mediums und in der Regel als Vermittelungsglied Wasser oder Quecksilber, welches entweder direkt durch seine Niveauschwankung eine Oeffnung für die Einströmung von Verbrennungsluft zur Feuerungsanlage mehr oder weniger verengt (vergl. Figur 46, S. 216, Einrichtung des Wasser-Regulators von Käuffer & Co. in Mainz) oder gegen einen Schwimmer drückt, welcher das Gestänge zur Verstellung von Ventilen, Schiebern oder Drosselklappen trägt, oder es drückt das Vermittelungs-

glied gegen einen durch Gewicht belasteten oder unter Federdruck stehenden Hebel (welcher das besagte Gestänge trägt oder auch direkt an einer den Luftzutritt oder die Entweichung der Verbrennungsgase mehr oder weniger hemmenden Klappe u. dergl. angreift). Von Regulatoren der letzteren Art mag hier der Woodruff'sche Patent-Regulator angeführt werden, welcher in Figur 47 dargestellt ist. Bei demselben ist ein Membranenpaar angewendet, die obere Membran ist mit ihrer Armirungsscheibe durch eine centrale Schraube verbunden, welche gleichzeitig zur Geradeführung der unteren Membrane dient. Die constructive Durchbildung ist aus der Figur ohne Beschreibung erkennbar. Das Gehäuse *b* ist mit Wasser ge-

Fig. 46.

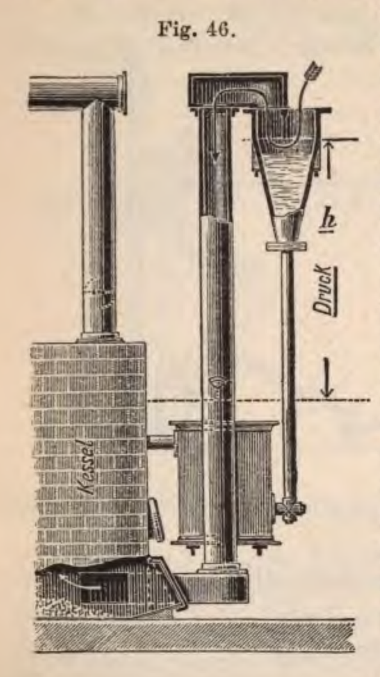
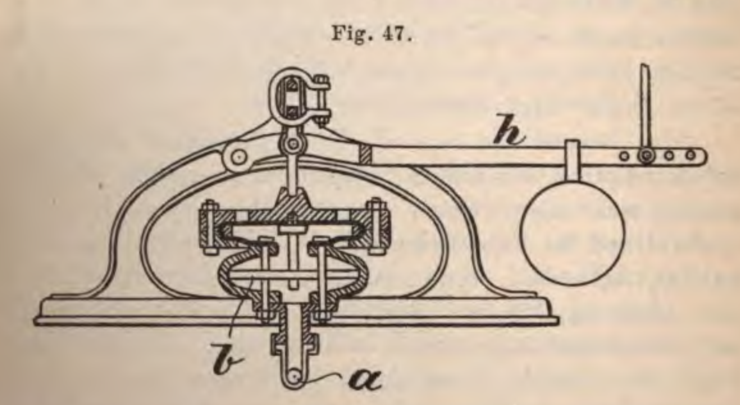


Fig. 47.



füllt, welches bei *a* zufliesst und unter dem Druck des gespannten Mediums steht. Der die Armirung belastende Ge-

wichtshebel *h* besitzt an seinem Ende mehrere Durchbohrungen, um das Stellzeug an verschiedenen Stellen befestigen zu können, so dass dasselbe an verschieden langem Hebelarm zum Angriff gebracht, bei gleicher Drehbewegung des Hebels eine mehr oder weniger grosse Bewegung ausführt. Dieser Apparat ist seit langer Zeit in Gebrauch und hat zahlreiche Nachahmungen gezeitigt, was am besten zu seinen Gunsten spricht.

Vierter Abschnitt.

Besprechung einer Anzahl besonders ausgewählter Feuerungseinrichtungen und Vorrichtungen für solche.

Vorbemerkung.

Die in diesem Abschnitt angeführten Einrichtungen wurden zum grössten Theil aus Patentschriften entnommen, welche in den meisten Fällen ihre Gegenstände nicht genau so zur Darstellung bringen, wie sie im Laufe der Praxis ausgeführt werden, sondern nur die charakteristischen Merkmale der unter Patentschutz gestellten Neuheiten kennzeichnen, während Bestandtheile, die nicht unter Schutz gestellt wurden, darin oft nur skizzenhaft angedeutet sind; man kann deshalb nach Patentschriften nur über die Grundprincipien derjenigen Theile einer Gesammteinrichtung urtheilen, welche den besonderen Gegenstand des Schutzes bilden. Die Auswahl erfolgte aus mehreren hundert Patentschriften, nicht nach Maassgabe des etwaigen Werthes, sondern nach Maassgabe der Eigenart ihrer Gegenstände, vermöge welcher sich der letzteren Vorführung, zur Ergänzung der im zweiten und dritten Abschnitt angestellten Betrachtungen, besonders zu eignen schien.

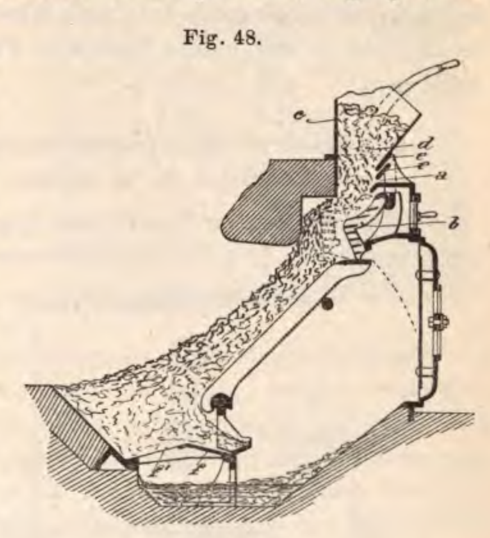
I. Feuerungsanlagen mit grösserem Vorrath von festem Brennmaterial (Dauerbrandöfen).

1. Schüttfeuerung von E. Herrmann & Cohen in Paris.

(Patent Nr. 55319.)

Ueber einem langen schrägliegenden Planrost (Figur 48) liegt zunächst ein um sein oberes Ende drehbares Kniestück (*b*), welches von Zeit zu Zeit in die punktirte Lage gedrückt und sodann wieder losgelassen wird, um das Brennmaterial abwärts zu drücken. Ueber diesem beweglichen Kniestück liegt ein Schütttrichter *c*, unter welchem bei *a* ein Luftraum freigelassen ist, in den einige Flacheisen *e* schräg eingeschoben sind, um das Herausfallen des Brennmaterials zu verhüten. Unter dem schrägliegenden Planrost liegt ein besonders construirter Schlackenrost *f*, über welchem ein zum Herausziehen der Schlacken genügender Raum freibleibt. Der Schlackenrost lässt nur am Hintertheil (*f'*) Asche durchfallen, während der Vordertheil desselben geschlossen ist (angeblich um ein Verbrennen der hier liegenden Masse zu verhüten). Im Aschenfallraum wird ein Wasserbad unterhalten.

Fig. 48.



Wird backende Steinkohle verfeuert, so wird das Kniestück *b* ersetzt durch ein gerades Glied, welches seinen Drehpunkt am unteren Ende erhält. Durch zeitweiliges Einwärtsdrücken dieses Gliedes wird die Steinkohlenmasse energischer abwärts gedrückt als bei der

in Fig. 48 dargestellten Einrichtung, welche für halbfette und nichtbackende Kohlen bestimmt ist.

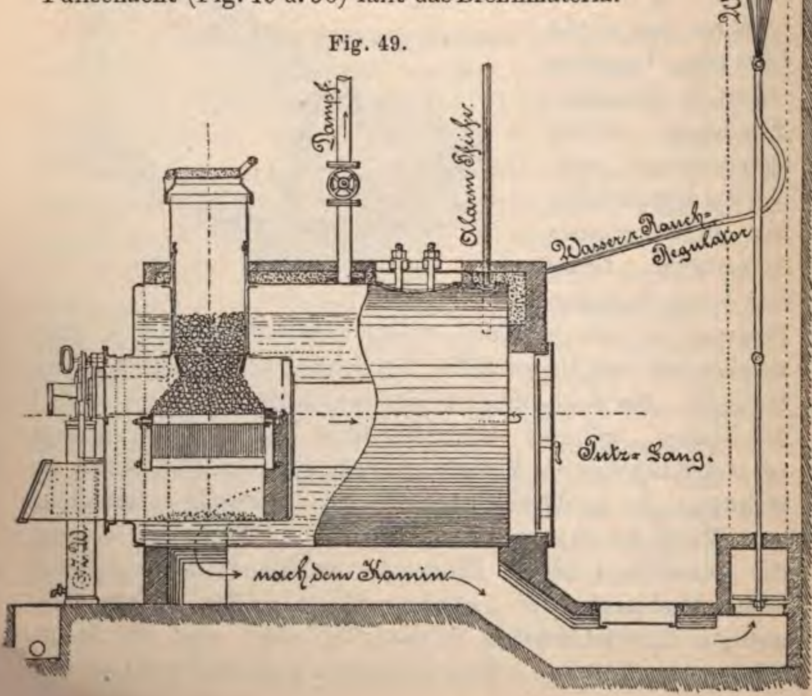
Die Einrichtung ist auch zum Verbrennen von lockeren Brennmaterialien, wie Farbholzspänen, Sägespänen und Gerberlohe bestimmt. Für diesen Zweck werden in den Schütttrichter Walzenpaare eingelegt, durch deren Umdrehung das faserige Material abwärts gedrängt wird.

Bei kleineren Ausführungen wird der schrägliegende Planrost zum Entschlacken des Schlackenrostes zeitweise unten angeschoben und dieser dafür unmittelbar an das untere Ende des Planrostes angelegt.

2. Niederdruck-Dampfkesselfeuerung von Käuffer & Co. in Mainz.

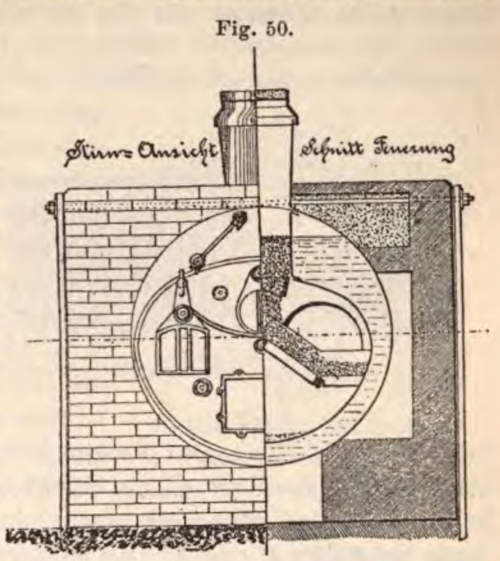
Aus einem in den Dampfkessel eingebauten Füllschacht (Fig. 49 u. 50) fällt das Brennmaterial

Fig. 49.



auf einen dachförmig angeordneten Rost (System „Cario"), an welchen sich zu beiden Seiten wagerechtliegende Rostflächen anschliessen. Die Besprechung dieses Rostes und seiner Bedienung erfolgt später.

Fig. 50.



An der Dampfkesselanlage ist der unter VI im vorigen Abschnitt erwähnte selbstthätige Luftzugregulator (vergl. Fig. 46 auf S. 216), etwas anders als dort besprochen, angewendet, nämlich in der Weise, dass das in dem Trichter beim Anwachsen des Druckes höher als sonst steigende Wasser den Druck auf einen Schwimmer vermehrt, welcher vermittelst einer Stange einen im Fuchs befindlichen Ventilteller trägt, der bei seinem Niedergang die Strömung der Verbrennungsgase nach dem Kamin hin hemmt. Ein Theil des Gewichtes dieses Ventiltellers und der darüber befindlichen Wassersäule wird vermittels eines Gegengewichtes ausbalancirt.

3. Kaminofen für minderwerthiges Brennmaterial von Mancheron in Paris.

(Patent Nr. 65832.)

Der in den Figuren 51 und 52 (S. 222) dargestellte Kaminofen ist, wie die Ueberschrift schon besagt, für die Verwerthung von minderwerthigem Brennmaterial (wie Kohlenstaub, Lösche, Lohe, etc.) bestimmt, welches in den an seiner Oberfläche durch einen stehenden Rost *B* abgegrenzten Füllraum *C* eingefüllt wird, während auf einem davorliegenden Rost *A* besseres Brennmaterial (Holz, Kohle, etc.) aufgegeben wird. Dieses

letztere dient wesentlich zur Entzündung und Begünstigung der Verbrennung des dahinter aufgefüllten Brennmaterials, dessen Asche wiederum auf das davorliegende bessere Brennmaterial fällt und dadurch dessen Abbrand verlangsamt. Bei der dargestellten Ausführung sollen sämmtliche Feuergase des hinteren Brennmaterials durch den Rost *B* hindurchströmen und über der auf dem Rost *A* stattfindenden Feuerung vollständig verbrennen. Damit hierbei der Rost *B* nicht durchbrenne, soll derselbe aus hohlen Roststäben hergestellt werden, durch welche, vermittelt durch Querrohre *E* und *F*, Luft hindurchströmen soll.

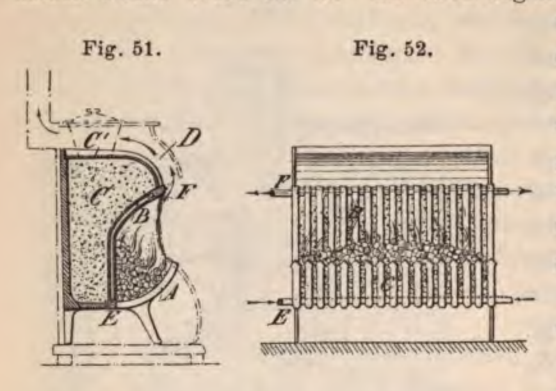


Fig. 51. Fig. 52.

Die ganze Einrichtung erweckt nicht sehr viel Vertrauen, da anscheinend sehr bald der ganze Ofen verbrennen oder der Füllbehälter *C* sich bald dermaassen mit Asche anfüllen wird, dass die Gase darin zurückbehalten werden; will man aber die Asche mit dem Schürhaken herausschaffen, so hüllt man nicht nur den Raum in eine Staubwolke ein, sondern erstickt auch die Flamme über dem Rost *A* vollständig.

Wird der Füllbehälter *C* nicht überdeckt, so wird damit der letztere Uebelstand auch noch nicht beseitigt.

4. Füllschachtfeuerung von Reinhard Mannesmann in Berlin.

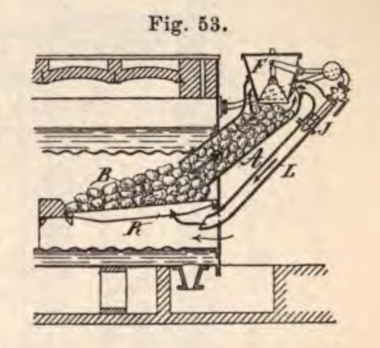
(Patent Nr. 61 278.)

Bei dieser in Figur 53, wohl mehr schematisch als construktiv, dargestellten Feuerungseinrichtung werden die Destillationsgase aus dem schrägliegenden Füllschacht *A* durch ein Rohr *L* hindurch abgeleitet und, um hierbei eine recht kräftige ʻbsaugewirkung dieser Gase zu bewirken, lässt Mannesmann

etwas Dampf durch einen im Rohre *L* untergebrachten Düsenapparat *J* hindurchblasen, der demnach als Dampfstrahlsauger funktionirt.

Die in der Figur dargestellten Verhältnisse sind wenig geeignet für die Feuerungseinrichtung Vertrauen zu erwecken. Sieht man aber von dieser wenig günstigen Darstellung ab, so ist zu bemerken, dass auch ein Theil der sich auf dem Rost *R* entwickelnden Feuergase durch den Füllschacht hindurch nach dem Rohre *L* hin gesaugt wird (wie dies der Erfinder in seiner Patentschrift angiebt); dabei wird das Brennmaterial in diesem Füllschacht stark vorerhitzt und vielleicht vollständig entgast, bevor es über den Rost gelangt. Auch wird durch den unter den Rost strömenden Gasstrom bei geeigneter Einrichtung der Luftzug nicht ungünstig beeinflusst, so dass unter günstigen Verhältnissen wohl ein guter Verbrennungsprozess erzielt werden kann. Ein gleich guter Erfolg liesse sich indessen auch ohne Erhitzung des Füllschachtes (welche hier eintritt) und ohne Dampfstrahldüsen erzielen, wenn man die Gasableitung nach einwärts verlegen und über dem Rost ausmünden liesse.

Fig. 53.



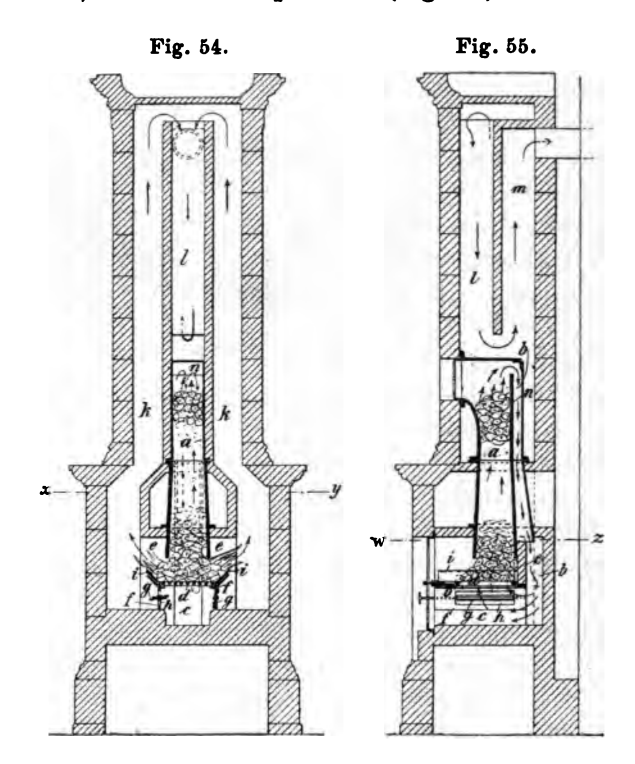
5. Füllofen von Georg Seldis in Berlin.

(Patent Nr. 65451.)

Auch bei dem in den Figuren 54 und 55 (S. 224) veranschaulichten Ofen strömen die sich im Füllschacht (*a*) entwickelnden Destillationsgase durch einen am oberen Ende desselben anschliessenden Canal (*b*) unter den Rost (*d*). Werden hier die Klappen *g*, welche den Aschenfallraum seitlich abschliessen, geöffnet, so strömen die Destillationsgase und die Verbrennungsluft vorwiegend unter dem Rost hinweg zu den Seitencanälen,

durch welche die Feuergase aufsteigen. Um den seitlich durch Lappen *i* begrenzten Rost leicht von Schlacke reinigen zu können, ist die Schürplatte *o* (Fig. 55) derart drehbar,

Fig. 54. Fig. 55.



dass sie senkrecht gestellt werden kann, so dass die mit dem Feuerhaken hervorgezogenen Schlacken unmittelbar in den Aschenfallraum hineinfallen.

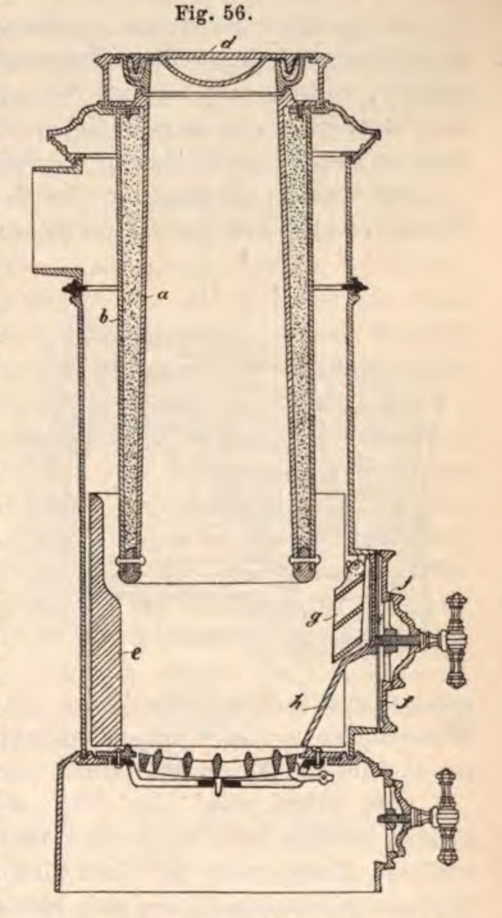
6. Füllofen von Dirks & Co. in Leer (Ostfriesland).

(Patent Nr. 66410.)

Dieser Ofen (Fig. 56) kann als Beispiel gut durchdachter Detailausführung bezeichnet werden; dagegen ist die Gesammtanordnung nur als einfach, nicht aber als besonders vortheilhaft zu erachten. Der Construkteur legt den Haupt-*werth auf gute* Ausfütterung des Feuerherdes und möglichst

guten Schutz des Füllschachtes gegen Zerstörung durch die Flamme. Ausserdem soll der Ofen auch für zeitweilige Beschickung von Brennmaterial verwendbar sein, zu welchem Zweck der Hängerost *g* weggenommen wird. Endlich enthält der Ofen auch einen Schüttelrost, dessen Construktion aus der Figur ohne Weiteres erkennbar ist.

Fig. 56.



Der Füllschacht (*a*) ist doppelwandig ausgeführt und der Zwischenraum zwischen den beiden Mänteln *a* und *b* mit einer die Wärme schlecht leitenden Masse (wie Asche u. dergl.) ausgefüllt.

Das Chamottefutter *e* ist in geeignetem Abstand von der eisernen Ofenwand angeordnet.

Alle Theile des Ofens sind leicht montirbar. Der Schacht ist mit einem in einer Sandrinne abgedichteten einfachen Deckel überdeckt.

Trotz der guten Detailausführung ergiebt dieser Ofen k e i n e n g u t e n N u t z e f f e k t; der Verbrennungsraum ist verhältnissmässig zu klein und die Feuergase strömen zu rasch aus dem Ofen ab.

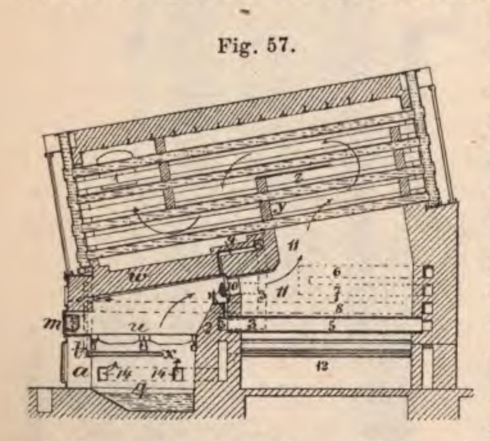
II. Besondere Einrichtungen zur Einführung vorerhitzter Verbrennungsluft in Feuerungsanlagen für festes Brennmaterial.

1. Eine ältere Dampfkessel-Vorfeuerung.

Da an dieser Feuerungseinrichtung der grösste Theil unzweckmässig ist (insoweit die Feuerung speciell dabei in Frage kommt), so ziehe ich vor den Namen des Construkteurs und die Patentnummer zu verschweigen. Es liefert diese Einrichtung ein Beispiel zur Darlegung wie man es n i c h t machen soll.

Als vordere Begrenzung des Feuerherdes dienen zwei W a s s e r b e h ä l t e r i n S ä u l e n f o r m (in der Fig. 57 ist ein solcher mit dem Buchstaben *a* bezeichnet), welche dazu dienen, Dampf für den Verbrennungsherd zu erzeugen. Ein Theil dieses Dampfes strömt direkt gegen das Gewölbe *w*, ein zweiter durch abwärtsgeführte Rohre *tx* unter den Rost. Die Heizthür ist ebenfalls als Wasserbehälter ausgebildet und in künstlicher Weise mit dem Inhalt der beiden Wassersäulen (*a*) in Communikation gesetzt. Ausserdem ist im Aschenfallraum ein Wasserbad unterhalten.

Fig. 57.



Luft strömt nicht blos durch die Thür des Aschenfallraumes, sondern auch durch eine Anzahl wagerechter Canäle, zunächst direkt nach der Umfassungswand des eigentlichen Verbrennungsraumes *11*, um sich hier zu erhitzen und sodann theils durch enge Canalschlitze unmittelbar vor der Feuerbrücke in den Raum, in welchem die erste Entwickelung von Feuergasen erfolgt; ausserdem aber auch unter den Rost (bei *14*).

Da die sekundäre Luft in unmittelbarer Nähe der Feuer- ke an engster Stelle (*4*) einströmt, wird sie nur gerade

noch von den Feuergasen nebenher mitgerissen, ohne sich mit diesen innig vermischen zu können (vgl. Erläuterung auf Seite 189) und, damit möglichst wenig Luft durch den Rost ströme, wird solche vorher möglichst weit vorgewärmt (bei *14*) in den Aschenfallraum geleitet.

Ausserdem sollte der Rost *u* sehr hoch mit Brennmaterial beschickt werden, damit sich die auf ihm bildende Kohlensäure zu Kohlenoxydgas reducire. Kurz, die ganze Anordnung ist für den Feuerherd derart bestimmt, dass sich hier nur Generatorgase entwickeln sollten, die noch dazu reichliche Mengen Wasserdampf enthalten. Der Construkteur glaubte, dass sich dieser Wasserdampf an dem Gewölbe *w* in seine Elemente zerlegen werde, was indessen bei solcher Einrichtung nicht zu erwarten ist, weil ja gerade die Temperatur zwischen Rost und Gewölbe *w* nach seinem Wunsche niedrig bleiben sollte und die Zersetzung des Wasserdampfes sehr hohe Temperatur erfordert.

Endlich sollte in dem hinteren Raume *11* die Verbrennung der entwickelten Gase und zwar recht vollkommen erfolgen, wozu indessen alle Vorbedingungen fehlen; denn erstens liegt in diesem Raume die Möglichkeit einer innigen Mischung der Gase mit der von ihnen mitgerissenen Luft nicht mehr vor und ausserdem ist einerseits durch die Luftcanäle *6*, *7*, *8*, *5* u. s. f. und andererseits durch die über diesem Raume liegenden Röhren des Dampfkessels bewirkt, dass sich hier eine für die vollkommene Verbrennung genügend hohe Temperatur möglichst schwer entwickele.

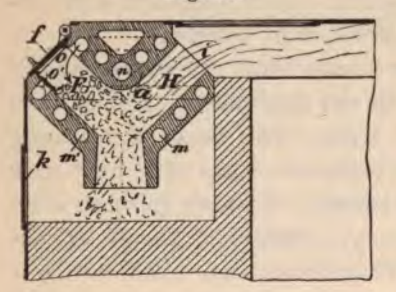
2. Pultfeuerung von J. G. A. Donneley in Hamburg.

(Patent Nr. 65 736.)

Die Vortheile der Pultfeuerung wurden auf S. 73 u. 74 ausführlich dargelegt. Die Anwendung dieser Feuerungsart für Brennmaterial, das in kleinen Stücken verfeuert wird, scheiterte bisher an der Benöthigung eines Rostes für solches Brennmaterial. Donneley macht nun die Verwendung eines Rostes durch eigenthümliche Gestaltung des Brennmaterial-Füllraumes

entbehrlich, indem er demselben die Form eines Y (vgl. Fig. 58) giebt, von welchem der eine Schenkel die Feuergase abführt, während die beiden anderen Schenkel das Brennmaterial aufnehmen. Natürlich muss dabei das Anheizen in der Weise geschehen, dass man zunächst im abwärtsgehenden Schenkel das Brennmaterial unmittelbar über dem Boden des Aschenfallraumes anhäuft; ist aber einmal die Möglichkeit geboten auch den einen seitlichen Schenkel mit Brennmaterial anzufüllen, so gelangt in der Folge in den Aschenfallraum nur Asche und Schlacke und in den abwärtsgehenden Schenkel nur stark glühende Kohle (bezw. Koks). Die Verbrennungsluft durchstreicht wie bei jeder Pultfeuerung zuerst das frische Brennmaterial, nimmt von demselben Gase mit sich über das stark glühende Brennmaterial hinweg, während das frische ganz allmählich bis zur höchsten Temperatur vorerhitzt wird. Eine vollkommene Verbrennung und höchster Temperatureffekt ist dabei, wie schon früher ausgeführt wurde, unschwer zu erzielen. Donneley beschleunigt nun den Prozess noch dadurch, dass er die Verbrennungsluft an der Wandung des eigenartigen Feuerherdkörpers sehr stark vorerhitzt, indem er sie entweder in Windungen um diesen Feuerherdkörper herum oder über demselben hinweg in einer der Feuergasbewegung entgegengesetzten Richtung bis zur Beschickungsstelle strömen lässt.

Fig. 58.



Die Umströmung des zweiten aufwärtsgerichteten Schenkels, welchem die Verbrennung mit kalter Luft sich vollendet, e übrigens, aus wiederholt erwähnten Gründen, besser zu n sein. Die hohe Temperatur, welcher das Material rherdkörpers insbesondere in dem zweiten aufwärts- Schenkel ausgesetzt ist, dürfte wohl eine etwas ilausbildung benöthigen, als sie die skizzenhafte

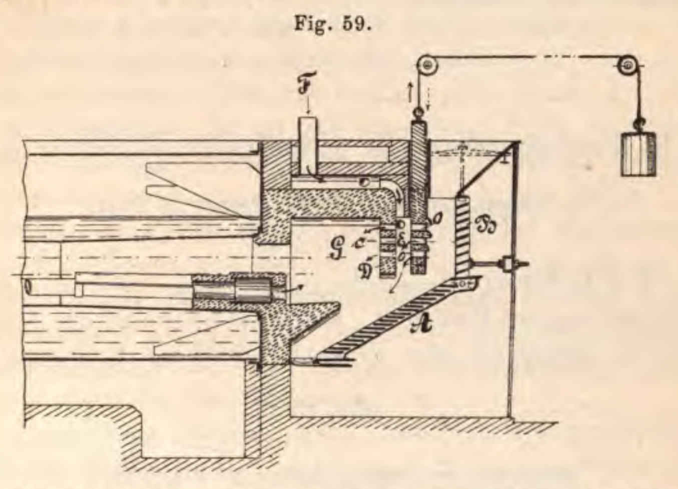
Andeutung der Patentschrift darstellt. Vielleicht würde hierbei mit Vortheil ein Futter aus künstlichem Magnesitstein der neueren Art zu verwenden sein.

3. Schüttfeuerung mit regulirbarer Schütthöhe von Ernst Völcker in Bernburg.

(Patent Nr. 53153.)

Bei der in Fig. 59 dargestellten Feuerungsanlage ist die Schütthöhe auf dem Treppenrost *A* durch senkrechte Verstellung der Wand *o* regulirbar.

Fig. 59.



Der Erfinder nennt sein Feuerungssystem „Halbgasfeuerung“, weil die aus der Rostbeschickung entweichenden Gase noch einer bedeutenden Luftbeimischung zu ihrer vollkommenen Verbrennung bedürfen. Diese bewirkt er in einer besonderen Kammer *G*, in welche die nöthige Verbrennungsluft in stark vorerhitztem Zustand von zwei Stellen aus einströmt, was in der Figur durch Pfeile ersichtlich gemacht ist. Dabei ist das Princip der Gegeneinanderströmung der Feuergase und der sekundären Luft in guter Weise durchgeführt. Auch die zwischen der verschiebbaren Wand *o* und dem senkrechten Rost *B* sich bildenden Destillationsgase des nachrutschenden Brennmaterials können, wie ebenfalls durch Pfeile

angedeutet ist, durch Durchbrechungen der Wand *o* hindurch, der Kammer *G* zuströmen. Eine schrägvorspringende Mauer über dem wagerechten Schlackenrost bewirkt, dass die am weitesten verbrannten Feuergase sich schon vor Einströmung in die Kammer *G* mit den übrigen Feuergasen mischen. Endlich ist auch der Bewegungsquerschnitt der mit Luft gemischten Gase bei ihrer Einströmung in den ersten Feuerzug noch durch eine Feuerbrücke verengt, durch welche hindurch ein Theil der vorerhitzten Verbrennungsluft (welche vermittelst eines besonderen in dem Feuerzug liegenden Rohres herbeigeleitet wird) einströmt.

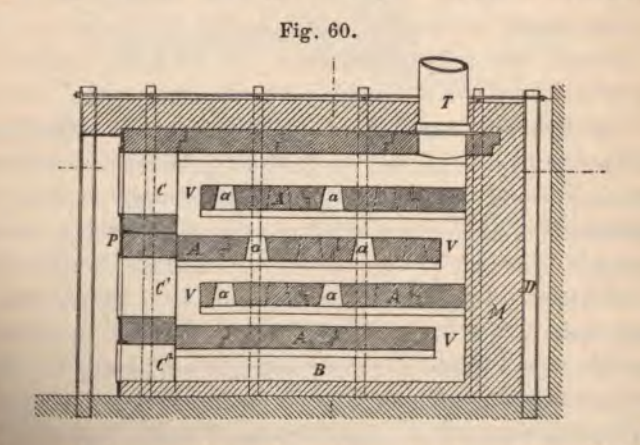
III. Feuerungsanlagen für pulverförmiges Brennmaterial.

1. Etagenofen von Michel Perret in Paris.

(Patent Nr. 44 959.)

Der in Fig. 60 dargestellte Ofen besitzt eine Anzahl übereinanderliegender Platten *A*, welche abwechselnd am Vorder- und am Hinterende eine grössere Oeffnung *V* freilassen und

Fig. 60.



·nen jede, mit Ausnahme der untersten, mit zahlreichen ·ch unten conisch erweiternden Löchern *a* versehen ist,

die gegenseitig versetzt untereinander angeordnet sind. Auf die oberste Platte wird von der Maueröffnung *C* aus pulverförmiges Brennmaterial aufgeworfen, welches zum Theil durch die Löcher *a* dieser Platte auf die darunterliegende zweite Platte fällt, so dass über beiden Platten Kohlenpulverhügel entstehen, welche der Luft eine grosse Berührungsfläche darbieten. Nach einiger Zeit wird der auf der zweiten Platte liegende Rest nach hinten geschoben, wobei er auf die dritte Platte fällt, von welcher bei erfolgender Ausbreitung wiederum ein Theil durch Löcher *a* auf die unterste Platte fällt, die keine Löcher besitzt; sodann wird auch die auf der obersten Platte noch übrig gebliebene Masse nach unten geschoben, so dass die zweite Platte wieder theilweise bedeckt wird und dann endlich die oberste Platte mit frischem pulverförmigem Brennmaterial beschickt. Ist die auf der unteren Platte befindliche Masse vollständig verbrannt, so wird der Rückstand von hier in den Aschenfallraum *B* geschoben und jeweils das auf der nächsthöheren Platte befindliche Material auf die darunterliegende gebracht und die oberste Platte wieder frisch beschickt u. s. f. Die Verbrennungsluft strömt zunächst in den Aschenfallraum ein und von hier aus im Zickzack von Platte zu Platte nach oben; die Feuergase aber endlich oben durch *T* nach dem Orte der Verwendung ab.

Dass dieser Feuerungsgang für die Verbrennung in dem beschriebenen Ofen selbst nicht vortheilhaft ist, liegt auf der Hand, da die Luft mit Kohlensäure gemischt fortwährend mit weniger weit verbrannter Masse in Berührung gelangt, wobei die Kohlensäure in Kohlenoxydgas übergeführt wird, während das Gleiche mit der sich in den nächst höheren Lagen etwa bildenden Kohlensäure bei ihrem Weiterströmen ebenfalls geschieht. Es wird deshalb jedenfalls durch die Ableitung *T* nur wenig Kohlensäure und viel Kohlenoxydgas, gemischt mit Kohlenwasserstoffen, abströmen. Der Ofen ist deshalb nicht als Verbrennungsofen, sondern als Gasgenerator brauchbar, für welchen Gebrauch es auch nichts schadet, dass die Gase auf ihrem Zuge zur Ableitung *T* mehr und mehr abkühlen.

2. Kohlenstaubfeuerung von Carl Wegener und Paul Baumert in Berlin.

(Patent Nr. 63 955.)

Die in den Fig. 61 und 62 in zwei verschiedenen Ausführungsarten dargestellte Feuerungsanlage, hat in jüngster Zeit viel von sich reden gemacht und die Erfinder derselben

Fig. 61.

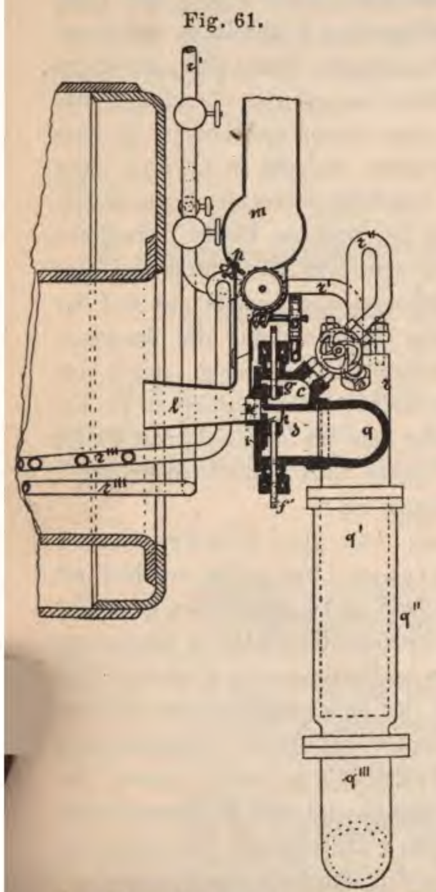
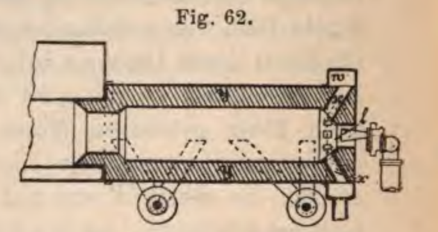


Fig. 62.



sind der Ansicht, dass ihre Einrichtungen einen besseren Nutzeffekt ergeben als er mit irgend einer anderen Feuerungsart zu erzielen sei.

Durch einen Trichter *m* fällt die vorher pulverisirte Kohle in eine Streudüse *l* herab und zwar unmittelbar vor einen Schlitz *k* des Deckels *i* eines in zwei Räume *c* und *d* abgetheilten Gehäuses, dessen Abtheilung *c* durch ein Rohr *r''* Dampf zugeleitet wird, während die Abtheilung *d* mit einer Luftleitung *q*, *q'*, *q''*, *q'''* in Communikation steht. Durch Schieber *g* und *h* wird die Ausströmung des Dampfes aus *c* und der Luft aus *d* regulirt. Dampf und ft mischen sich und reissen das vor den Schlitz *k* fallende npulver mit sich fort, durch die Streudüse *l* in den

Verbrennungsraum hinein. In diesem letzteren liegt ein Schlangenrohr, welches bei r''' angedeutet ist. Dieses wird beim Anheizen durch ein kleines Kohlen- oder Holzfeuer erhitzt und sodann am einen Ende mit einer Wasserleitung und am anderen Ende mit der Leitung r'' in Verbindung gesetzt. Wird die Feuerungseinrichtung an einem Dampfkessel angewendet, so wird, sobald dieser Dampf besitzt, von letzterem genommen; derselbe wird dann aber zuvor durch das Schlangenrohr hindurch geleitet, um ihn zu überhitzen.

Ist die Feuerung einmal gehörig im Gang, so wird das kleine Hilfsfeuer nicht mehr unterhalten.

Neuerdings soll Dampf nicht mehr zum Einblasen des Kohlenpulvers benutzt werden, sondern gepresste Luft, welche in den Gehäusetheil d einströmt. Das Schlangenrohr wird dann jedenfalls wegfallen.

Damit das Kohlenpulver sich nicht zusammenballe, ist in den Fülltrichter eine Walze eingesetzt, welche vermittelst eines besonderen Rotationsmotors (bei o ist ein Wassermotor angedeutet) mittelst Uebersetzung durch Schneckenbetrieb in Umdrehung gesetzt wird.

Will man die Verbrennung des Kohlenpulvers nicht innerhalb des zu beheizenden Ofens oder der zu beheizenden Feuerzüge bewirken, sondern nur glühende oder möglichst hocherhitzte Verbrennungsgase einführen, so benutzt man eine Vorfeuerungskammer von der Art, wie sie in Fig. 62 dargestellt ist. Dieselbe ist ein doppelwandiger Eisenblechcylinder, dessen Mantelraum mit einem feuerfesten schlechten Wärmeleiter y ausgefüllt ist und welcher eine Anzahl Luftzuführungscanäle x besitzt, die in einen gemeinschaftlichen Wulstcanal w münden, an den ein Zweigrohr der Luftleitung angeschlossen ist. Am vorderen Ende mündet in diese Vorfeuerungskammer die Streudüse des vorstehend beschriebenen Apparats ein.

Wenn die ohnehin nicht als vortheilhaft erscheinende Dampfeinführung und demgemäss alle dafür bestimmten Theile wegbleiben, so ist die Feuerungseinrichtung schliesslich nicht viel complicirter als manche für das Verbrennen von fasrigem Brennmaterial bestimmte Einrichtung und es erscheint durch-

aus möglich, dass mit solcher Feuerungseinrichtung recht gute Resultate erzielt werden; indessen liegt darum doch kein Grund dazu vor, Kohlen zunächst zu Pulver zu verarbeiten, da man bei zweckmässiger Einrichtung auch nichtgepulverte Kohle, selbst wenn solche von geringer Qualität ist, ohne ungünstig zu nennenden Luftüberschuss, vollkommen verbrennen kann, und dann bleibt die durch die Zersetzung selbst vorgenommene Zerkleinerung des Brennmaterials doch noch am einfachsten.

Der beschriebenen, in Fig. 62 dargestellten Vorfeuerungskammer muss eine gewisse praktische Bedeutung zuerkannt werden, da sie die Vollkommenheit der Verbrennung wesentlich zu begünstigen vermag, indessen ist eine gemauerte Vorfeuerungskammer im Allgemeinen doch vorzuziehen.

IV. Feuerungsanlagen für flüssiges Brennmaterial.

1. Feuerungseinrichtung von Franz Mörth in Wien.

(Patent Nr. 40142.)

Mörth geht wie die meisten Specialisten für Verwerthung flüssigen Brennmaterials von der Ansicht aus, dass dieses am besten mittelst überhitzten Dampfes zu vergasen und in den Feuerraum einzublasen sei, woselbst auf einem Rost aus Röhren oder sonstigen hohlen Stäben, die selbst zur Einführung eines Theiles des vergasten, vorher flüssigen Brennmaterials bestimmt sind, dauernd oder nur für kürzere Zeit, ein Kohlenfeuer unterhalten wird, während der übrige Theil des vergasten, vorher flüssigen Brennmaterials oberhalb besagten Rostes — in der Regel durch ein kreisbogenförmig im Verbrennungsraum abwärts gekrümmtes, an seiner Unterfläche mit zahlreichen feinen Löchern versehenes Rohr hindurch — eingeblasen wird.

Man beabsichtigt dabei zugleich mit dem Einblasen des Gas- und Dampfgemisches unter den Rost den in diesem Gemisch enthaltenen überhitzten Dampf vor seiner Einströmung in den Verbrennungsraum zu dissociren und seine Wieder-

bildung in dem letzteren zu bewirken. Solche Dissocirung des Wasserdampfes unterhalb des Rostes und Wiederverbrennung des entstandenen Wasserstoffgases über dem Rost, bietet den Vortheil leicht erzielbarer hoher Temperaturentwickelung im Verbrennungsraum; wird aber hier gleichfalls Wasserdampf (der aus dem vorbesagten hier befindlichen Gasrohr einströmt) dissocirt, so geht der von der ersterwähnten Einrichtung gebotene Vortheil theilweise wieder verloren. Der letztere Umstand veranlasste Mörth der Einführung des Gas- und Dampfgemisches von unten her den grösseren Werth beizumessen und insbesondere die in den Fig. 63 bis 66 dar-

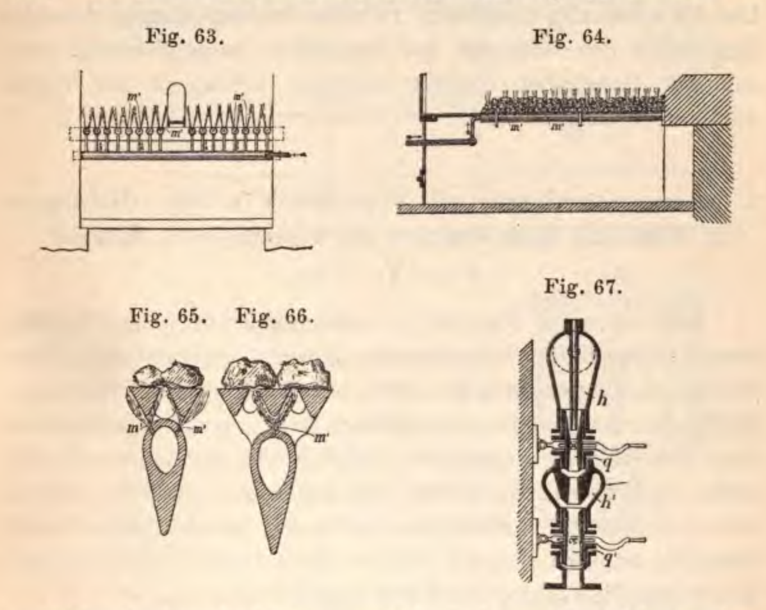


Fig. 63. Fig. 64. Fig. 65. Fig. 66. Fig. 67.

gestellte Rostconstruktion zu wählen, deren Einrichtung ohne weitere Erklärung aus den Figuren erkennbar ist.

Die Vergasung des flüssigen Brennmaterials und die Vermischung seiner Kohlenwasserstoffgase mit überhitztem Wasserdampf erfolgen in einem besonderen Dampfstrahlapparat. Eine Specialeinrichtung eines solchen zeigt Fig. 67. In diesen Apparat fliesst Oel durch ein enges Rohr zunächst durch das Gehäuse *h* hindurch, in welches von der Seite her überhitzter

Dampf einströmt, der vermöge seiner hohen Temperatur die Vergasung des Oeles bewirkt und dasselbe zugleich durch die Düse *q* hindurch mit sich fortreisst in ein Gehäuse *h'* hinein, welches seinerseits mit dem oberen Raume des anzuwendenden Oelreservoirs über dem Oelspiegel communicirt, damit die sich hier bildenden Gase ebenfalls durch den Dampf herbeigesaugt und, mit dem direkt einfliessenden und im Dampfstrahl-Apparat selbst vergasenden Oel gemischt, durch die Düse *q'* hindurch in die Vertheilungsleitung befördert werden. Der in Fig. 67 dargestellte Dampfstrahlapparat besitzt als besondere construktive Eigenheit leicht verschiebbare Düsen ohne Gewinde. Die Verschiebung derselben in ihrer Achsenrichtung (zwecks Regulirens der Wirkung des Apparates) kann vermittels besonderer Handhebel bewirkt werden, welche in der Figur deutlich ersichtlich sind.

2. Feuerungseinrichtung von Franz Mörth in Wien, Carl Diener in Wien und Hans Freiherr von Stockinger in Budapest.

(Patent Nr. 51605.)

Bei dieser in Fig. 68 in Anwendung für einen Schiffskessel dargestellten Einrichtung werden gleichzeitig leichtflüssige Kohlenwasserstoffe (Oel) unterhalb und oberhalb des Rostes in die Feuerung eingeführt und ausserdem noch über dem Roste Theer eingespritzt. Mit beiden Kohlenwasserstoffarten wird überhitzter Dampf und heisse Luft gemischt, wobei, wie in dem unter 1 erwähnten Falle, das leichtflüssige Brennmaterial zugleich vergast wird, während der Theer nur zum Einspritzen brauchbar verflüssigt wird.

Der Dampf wird in einem im hinteren Feuerkasten liegenden U-förmiggebogenen Rohr (*U*) überhitzt, während die Luft einem Schlangenrohr (*R*), welches in einem vor der Stirn-
ɩd des Dampfkessels befindlichen Blechkasten *k* liegt, er-
t wird.

Das ähnlich wie in dem vorherbesprochenen Falle ver-
Oel, mit überhitztem Dampf und heisser Luft gemischt, durch ein mit zahlreichen feinen Oeffnungen versehenes

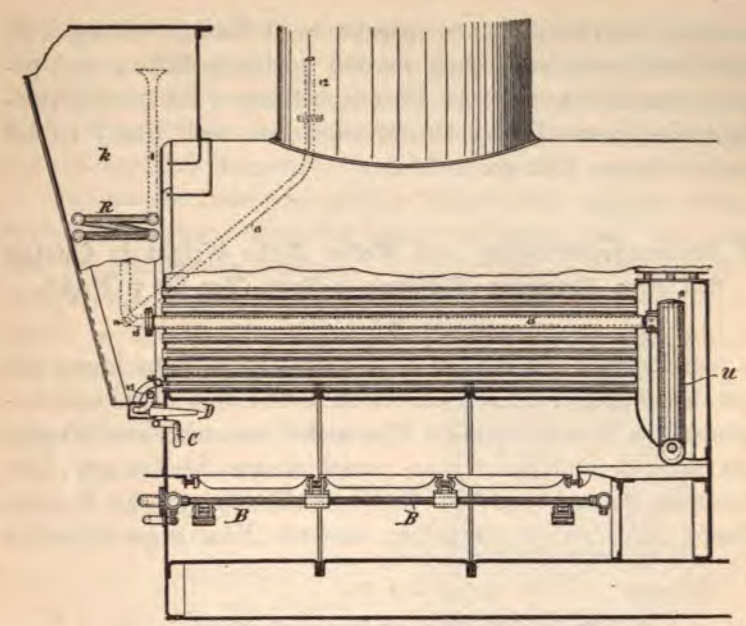


Fig. 68.

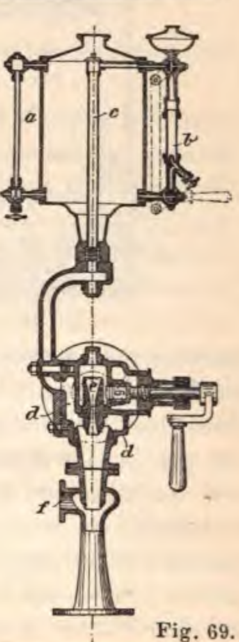


Fig. 69.

Rohrsystem (aus zahlreichen parallelliegenden Einzelröhren) unter den Rost geleitet, sowie auch durch ein über dem Vorderende des Rostes liegendes kreisbogenförmiggebogenes, ebenfalls mit zahlreichen feinen Löchern versehenes Rohr (*C*) unmittelbar in den Flammenraum eingeführt.

Ueber dem Rohr *C* liegen Einspritzdüsen (*D*) für den durch heisse Luft und Dampf dünnflüssig gemachten Theer.

Der Dampfstrahlapparat für das dünnflüssige Oel, nebst dem dazugehörigen Oelreservoir ist in Fig. 69 dargestellt. Das letztere besitzt ausser einem Oelstandsglas (*a*) noch ein Schauglas *b*. Das Oel fliesst unter der Saug-

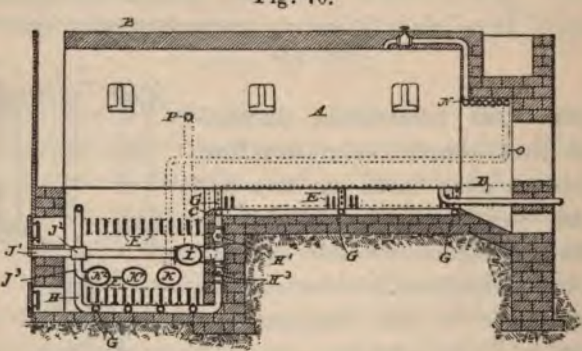
wirkung des Dampfstrahlappparates durch die mit Schauglas (*b*) versehene seitliche Leitung zu dem centralen Rohr *c* und gelangt aus diesem in den ringförmigen Raum *d* des Dampfstrahlapparates, dessen Düse *e* Dampf zugeleitet wird. Bei *f* strömt endlich heisse Luft zu.

3. Feuerungseinrichtung von Walter Blake Wright in Chicago und Eyra Thompson Williams in Troy (Ver.-St. v. N.-A.).

(Patent Nr. 43 815.)

Bei der in den Fig. 70 u. 71 dargestellten Einrichtung soll aus den flüssigen Kohlenwasserstoffen und dem denselben beigemischten Wasserdampf im Ofen selbst ein carburirtes Wassergas erzeugt und alsbald an verschiedenen Stellen zur Verbrennung gebracht werden. Zu diesem Zweck wird der Wasserdampf zunächst in einem im hinteren Feuerzuge liegenden

Fig. 70.

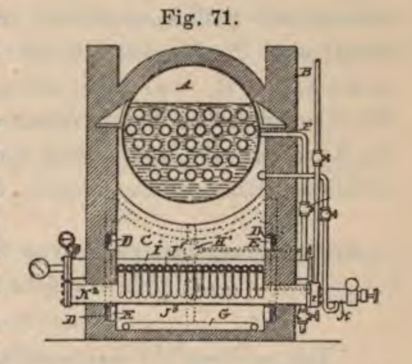


Schlangenrohrsystem stark überhitzt und sodann einem Dampfstrahlapparat zugeführt, durch welchen hindurch der Dampf die demselben gleichfalls zugeleiteten flüssigen Kohlenwasserstoffe mit sich in eine Retorte *K* hineinreisst, in welcher die Letzteren erst vergasen, um sodann nacheinander den Retorten *K'*, *K''* und durch ein rostartiges System von Röhren *J'* hindurch der Retorte *I* zuzuströmen, wobei sie fortwährend immer stärker und stärker erhitzt werden. In der sehr stark erhitzten Retorte *I* soll der Wasserdampf sich vollständig zersetzen. Seine Ele-

mente, mit den Kohlenwasserstoffgasen gemischt, gelangen sodann in ein System von Röhren *G*, *G*, die am Boden des Feuerherdes und ausserdem auch in dem ersten Feuerzug vertheilt liegend, mit zahlreichen feinen Löchern versehen sind, aus welchen das Gasgemisch ausströmt.

Die zur Verbrennung nöthige Luft strömt zunächst einem in der Feuerbrücke liegenden Canale zu (vergl. Fig. 71), um sich zu erhitzen und sodann, durch Vertheilungscanäle *D* hindurch, zu zahlreichen schlitzförmigen Einmündungen *E*.

Fig. 71.



Zum Anheizen werden zunächst alle Röhren mit Wasser gefüllt und sodann wird auf dem rostartigen Röhrensystem *J'* ein Kohlenfeuer entzündet. Ist genügend hohe Temperatur eingetreten, so wird das Wasser aus den Röhren abgelassen und der Dampfstrahlapparat in Thätigkeit gesetzt, worauf man das Kohlenfeuer nicht weiter berücksichtigt.

Frägt man nach der Zweckmässigkeit dieser Feuerungseinrichtung, so muss man in erster Linie bemerken, dass es nicht recht verständlich ist welcher Zweck dadurch erreicht werden soll, dass man in dem Herde der Ausnutzung der erzeugten Wärme zunächst eine Zersetzung des Wasserdampfes in seine Elemente anstrebt, um sodann durch Wiedervereinigung dieser Elemente die für Zersetzung des nachfolgenden Dampfes nöthige Temperatur zu beschaffen. Eine hohe Temperatur im Verbrennungsraume ist wohl zur Erzielung möglichst vollkommener Verbrennung vortheilhaft; dass man aber die Dissociationsfähigkeit dieser hohen Temperatur an demselben Orte benutzt um einen an sich nicht brennbaren Körper zu zersetzen, ist ein Fehler, weil damit nicht nur nichts Positives erzielt wird, sondern auch das Volumen der Gase erheblich vermehrt und demzufolge ihre Vermischung mit der nöthigen Verbrennungsluft erschwert wird. Ausser-

dem ist die Einrichtung etwas kostspielig und sind die zahlreichen Röhren dem Verbrennen in hohem Grade ausgesetzt.

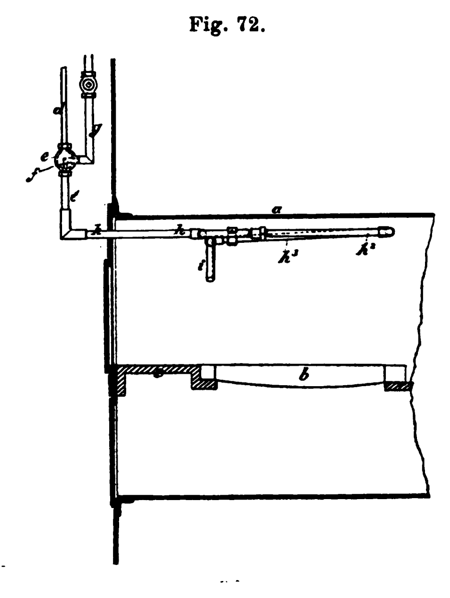
Als ein relativer Vortheil kann nur unter Umständen die Vertheilung von Gasröhren *G* auf mehrere Stellen der Feuerungsanlage und die an denselben Stellen erfolgende Lufteinführung erachtet werden und zwar deshalb, weil dadurch die Möglichkeit geboten ist, die Temperaturverschiedenheit innerhalb des ersten Feuerzuges zu vermindern, was in besonderen Fällen erwünscht sein kann; doch nimmt man damit auch die Möglichkeit der Verminderung der Vollständigkeit der Verbrennung an den von der Stelle **höchster Temperatur** entfernten Brandstellen in Kauf, welche Möglichkeit mit der Nähe stark abkühlender Flächen (insbesondere eiserner Kesselflächen) zunimmt.

4. Feuerungseinrichtung von W. H. Wilson und J. Welsch in Hayfield (England).

(Patent Nr. 58695.)

Die in Figur 72 dargestellte Einrichtung ist zwar einfach, lässt jedoch trotzdem an Zweckmässigkeit sehr viel zu wünschen übrig. Durch das Rohr *d* fliesst Petroleum (oder sonstige flüssige Kohlenwasserstoffe) dem Behälter *e* zu, welchem durch das Rohr *g* Dampf zugeleitet wird. Dieser reisst das Petroleum mit sich fort in ein Rohrsystem h, h^2, h^3, an welches ein kreisbogenförmig nach unten gebogenes und mit zahlreichen feinen Bohrungen versehenes Rohr *i* angefügt ist. Ueber dem Rost *b* wird ein Kohlen- oder Koksfeuer entzündet, welches

Fig. 72.



das im Rohrsystem h, h^2, h^3 befindliche Oel- und Dampfgemisch stark erhitzt und bei seinem Austritt aus dem Rohr i entzündet. Ist die Feuerung einmal tüchtig in Gang, so lässt man das Rostfeuer erlöschen.

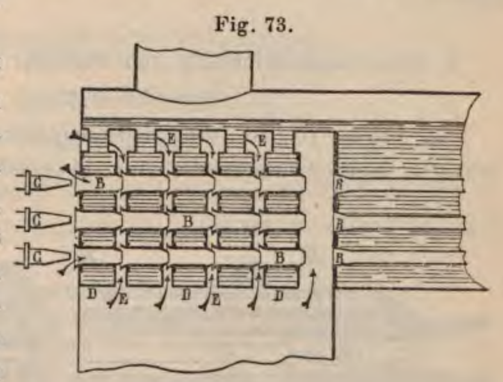
Als mangelhaft ist hierbei zu erwähnen, dass das Rohrsystem h, h^2, h^3 in grösstmögliche Nähe der abkühlenden Fläche a verlegt und anscheinend vollständig freitragend angeordnet ist, und dass die nöthige Verbrennungsluft den Gasen durch den Aschenfallraum unter dem Rost b zugeführt wird, so dass also eine Mischung der Gase mit der Luft, so weit als es irgend möglich ist, erschwert wird.

5. Feuerungseinrichtung von Adolph Seigle-Goujon in Lyon.

(Patent Nr. 53 128.)

Die in Figur 73 dargestellte Feuerungseinrichtung zeichnet sich durch ihre Originalität aus. Die Kohlenwasserstoffe strömen halb oder ganz verflüchtigt durch Mundstücke G in mehrere Reihen düsenförmiger, hintereinander liegender Rohrstücke ein, welche dampfdicht in Wasserkammern eingesetzt sind, zwischen denen jeweils Verbrennungsluft in die folgenden Düsen einströmen kann.

Fig. 73.



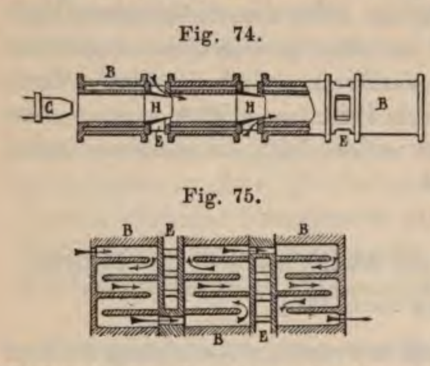
Um die flüssigen Kohlenwasserstoffe vorzuerhitzen und zu verdampfen, formt der Erfinder die düsenförmigen Rohrstücke hohlwandig und verbindet durch geeignete Zwischenstücke (E), deren Hohlräume in solcher Weise, dass dieselben miteinander einen Canal von der Art bilden, wie ihn die Abwickelung in Figur 75 veranschaulicht, so dass die flüssigen Kohlenwasserstoffe, durch die Hohlräume hindurchgeleitet, sich sehr

rasch erhitzen. Im Längenschnitt haben die Düsen in Verbindung mit den Zwischenstücken die in Figur 74 dargestellte Gestalt.

Was den Werth dieser Feuerungseinrichtung betrifft, so ist zu bemerken, dass dieselbe zwar zweifellos ziemlich kostspielig ist, aber schwerlich einen sehr guten Nutzeffekt ergiebt, weil die Feuergase sich in den engen düsenförmigen Röhren auch dann noch stark abkühlen, wenn die in den Figuren 74 und 75 dargestellte Ausführungsform gewählt wird, weshalb eine vollkommene Verbrennung der Gase in diesen Röhren ausgeschlossen erscheint.

Fig. 74.

Fig. 75.

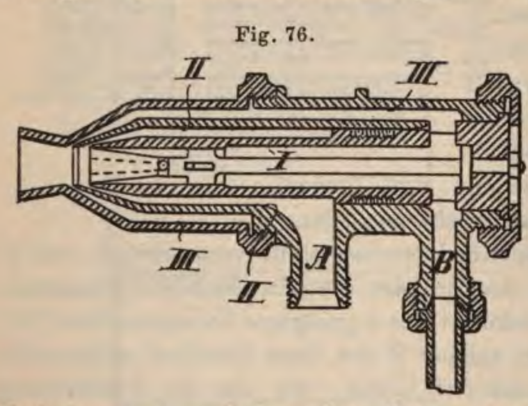


6. Feuerungseinrichtung von Svetozar Nevole in Wien.

(Patent Nr. 39 211.)

In Figur 76 ist eine Düseneinrichtung für Mischung flüssiger Kohlenwasserstoffe mit gepresster Luft dargestellt. Die gepresste Luft strömt durch das Rohr *B* ein und zwar sowohl in die Düse *I* als auch in die Düse *III*, während das flüssige Brennmaterial durch das Rohr *A* zufliesst und unter Druck durch den Zwischenraum zwischen den Düsen *II* und *I* hindurchströmt.

Fig. 76.



An der Mündung der drei Düsen findet die Mischung der Pressluft mit dem flüssigen Brennmaterial statt. Anstatt Druckluft in die innere Düse *I* einströmen zu lassen, kann dieselbe auch für sich allein mit der äusseren atmosphärischen Luft in Communikation gesetzt werden.

Die Einrichtung zeigt den Uebelstand, dass der enge Zwischenraum zwischen den beiden inneren Düsen, durch welchen das flüssige Brennmaterial hindurchgedrückt wird, leicht verharzt und dass die Zertheilung desselben doch nicht in gleichem Maasse vor sich geht wie bei Mitbenutzung von überhitztem Wasserdampf, dessen Anwendung, trotz seiner Eigenschaft, die Zugängigkeit des Sauerstoffs der Verbrennungsluft zum Brennstoff zu beeinträchtigen, bei Feuerungseinrichtungen für flüssiges Brennmaterial als vortheilhaft erachtet wird.

V. Besondere Rostconstruktionen.

1. Kori's Patent-Korbrost.

(Patent Nr. 70 584.)

Der in den Figuren 77 und 78 dargestellte Korbrost besteht aus einem hufeisenförmigen, mit senkrechten Schlitzen

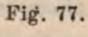
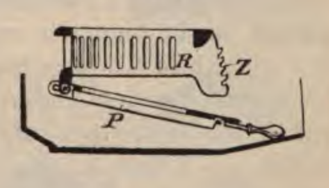

Fig. 77.



Fig. 78.



versehenen Rahmen *R* und einem daran drehbar angehängten und seiner länglichen Gelenköse *G* wegen auch in seiner

Längenrichtung etwas verschiebbaren Planrost *P*, welcher an seinem Vorderende einen Handgriff und seitlich Zapfen hat, mittels deren er an den verzahnten Kanten *Z* des hufeisenförmigen Rahmens in verschiedenen Höhenlagen (mehr oder weniger schrägliegend) festgelegt werden kann. Beim Anheizen des Ofens wird dieser Planrost in wagerechte Richtung gelegt, um das Brennmaterial bequem auf ihn auflegen zu können.

Soll später der Schachtraum über ihm mit Brennmaterial vollgefüllt werden, so bringt man ihn in schräge höchste Lage (Figur 77), in welcher ein Herausfallen von Brennmaterialstücken ausgeschlossen ist. Beim Entleeren des Ofens legt man den Planrost in die in Figur 78 dargestellte Lage, und während des Betriebes kann man endlich die auf dem Planrost liegende Asche durch Schütteln desselben bequem zum Durchfallen nöthigen.

Figur 77 lässt auch eine zweckmässige Einrichtung des Chamottesteinfutters des Feuerherdes erkennen.

2. Treppenrost von C. Bartels Söhne in Oschersleben.

(Patent Nr. 60539.)

Bei dem in Figur 79 dargestellten Treppenrost sind hohle mit zahlreichen Löchern versehene Seitenwangen als Auflagerstützen der Rostplatten angeordnet. Diese Seitenwangen sind nach auswärts vollständig offen, aber durch Schieber *i* mehr oder weniger verschliessbar. Der Querschnitt der Seitenwangen ist in Figur 80 und derjenige von Zwischenwangen in Figur 81 in etwas grösserem Maassstabe dargestellt. Die Löcher der Wangen sind verschieden weit und zwar sind dieselben, soweit sie vom aufgeschütteten Brennmaterial bedeckt werden (die Löcher *d*), wesentlich enger als in grösserer Höhenlage (vergl. *f*). Werden die Schieber *i* geöffnet, so strömt durch die engeren Löcher *d* ein Theil der in die Wangenhöhlung eintretenden Luft unmittelbar in die Brennmaterialmasse ein; eine weit grössere Luftmenge aber strömt durch

die weiteren Löcher *f* oberhalb der Brennmaterialschüttung in die daraus emporsteigenden Gase ein.

Fig. 79.

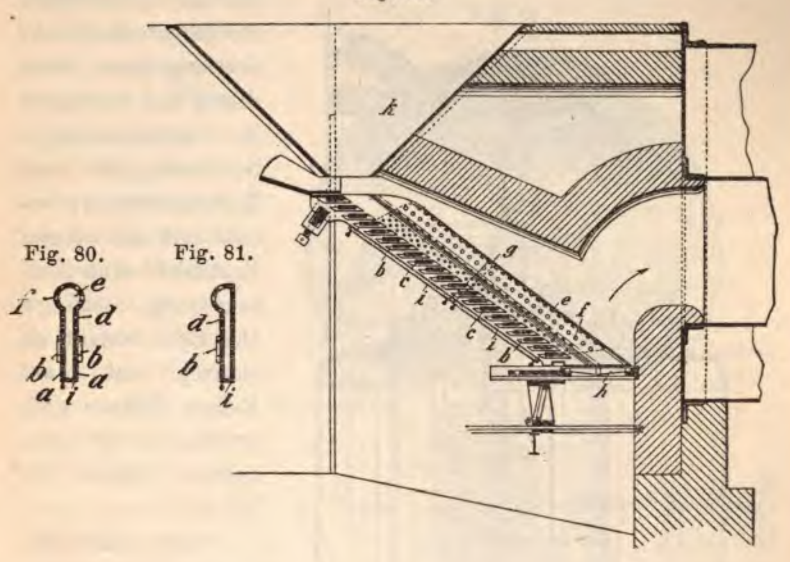


Fig. 80. Fig. 81.

3. Die Cario-Feuerung.

Des Cario-Rostes wurde bereits mit einigen Worten bei Besprechung der Käuffer'schen Niederdruckdampfkessel-Feuerung gedacht (vergl. S. 221) und auf spätere eingehendere Erläuterung verwiesen. Wie schon erwähnt und aus den hier beigefügten Figuren 82 bis 85 er-

Fig. 82.



sichtlich, ist der Cario-Rost dachförmig und besitzt zu beiden Seiten noch wagerecht liegende Verbreiterung. Der Neigungswinkel des dachförmigen Theiles wird dem Böschungswinkel des zu verfeuernden Brennmaterials derart angepasst, dass dieses sich von selbst in gleichmässiger Schichtung über dem Rost ausbreitet, sobald auf der oberen Rostkante eine Aufschüttung erfolgt. Der Rost besteht im Ganzen aus zwei Reihen Stäben (*F*), welche in der Regel auf drei Röhren (*E*) ruhen.

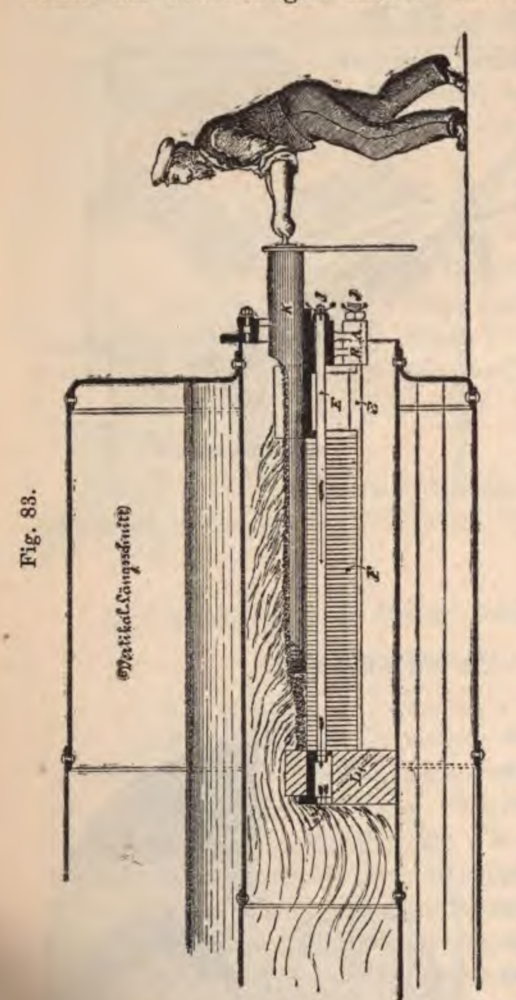


Fig. 83.

Für die Beschickung bedient man sich einer besonderen muldenförmigen Schaufel *K*, welche an ihrem vorderen Ende keilförmig spitz zuläuft. Diese Schaufel wird nach erfolgter Füllung mit ihrer Spitze gegen die Mitte einer zweitheiligen Thür (*B*) gestossen ergl. insbesondere Fig. 85), deren um einen gemeinschaftien oberen Zapfen pendelnde Hälften dabei seitlich auschen und der Schaufel die nöthige Durchgangsöffnung freien.

Indem man mit der Spitze der Schaufel auf dem First des Rostes entlang fährt, entfernt man die dort lagernde Kohle nach den beiden geneigten Flächen und durch Wenden der Schaufel nach rechts oder nach links wird diese entleert. Wird dieselbe alsdann aus dem Feuerraum herausgezogen, so legen sich die beiden Hälften der Thür *B*, infolge ihres Eigengewichts, wieder gegeneinander.

Fig. 84.



Für die Beobachtung des Feuers sind in den der Entschlackung des Rostes dienenden Seitenthüren *D* (Fig. 82 und 85) Glasscheiben *C* (Fig. 82) eingesetzt. Ausserdem sind in diesen Thüren senkrechte Schlitze, welche gerade breit genug sind, um durch sie hindurch bei verschlossener Thür mit einem Schürhaken über die Rostflächen fahren zu können.

Es wird somit jedes unnütze Oeffnen von Feuerthüren und demgemäss die Zuführung schädlicher Mengen kalter Luft auf ein kleines Maass beschränkt. Ausserdem hat die eigenthümliche Art des Einführens von frischem Brennmaterial zur Folge, dass die auf dem Rost liegende glühende Kohle zuerst von der Schaufel abwärts gedrängt wird und dass alsdann durch Drehen der letzteren das frische Brennmaterial hinter die glühenden Kohlen (dem First zunächst), nicht aber völlig über diese letzteren zu liegen kommt; die sich aus dem frischen Brennmaterial entwickelnden Destillationsgase werden deshalb stets mit einem Ueberschuss an hellleuchtenden, d. i. hochtemperirten Feuerungsgasen gemischt der Feuerbrücke zuströmen.

Durch die den Rost tragenden Röhren wird sekundäre Verbrennungsluft hindurchgeleitet, welche diese Röhren kühlt. Diese sekundäre Luft würde indessen, aus früher erwähnten Gründen (vgl. S. 189 u. 226), besser **nicht hinter**, sondern **vor** der Feuerbrücke einzuführen sein, oder etwa hinter der ersten Feuerbrücke noch eine zweite aufzuführen sein, um eine innige Mischung der Feuergase mit der Sekundärluft erzwingen zu können.

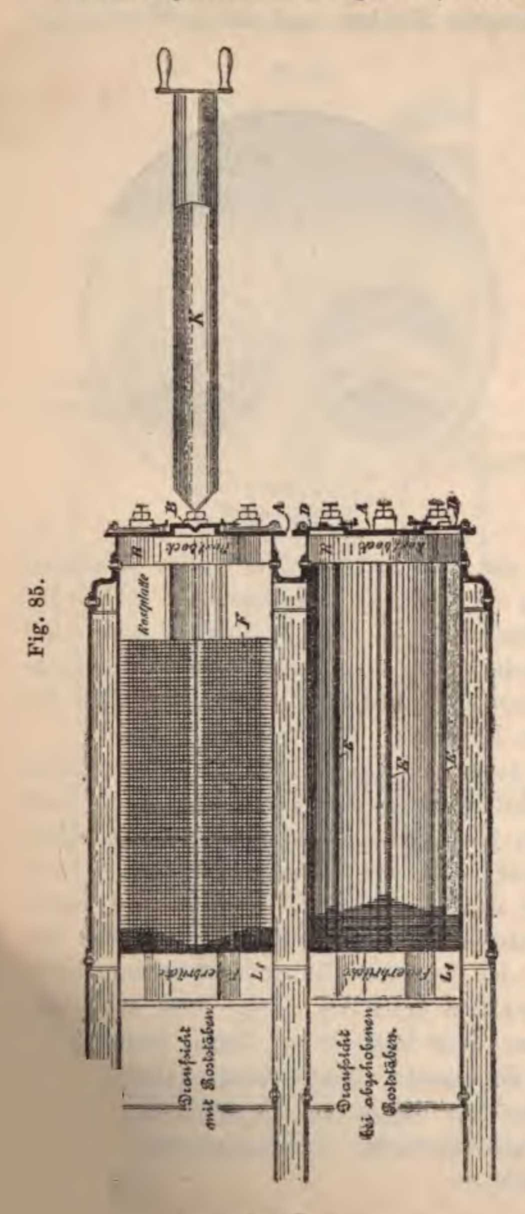


Fig. 85.

Die Cario-Feuerung wird in Deutschland von der allein hierzu berechtigten Firma **Otto Thost in Zwickau** i. S. ausgeführt. Von dieser Firma sind auch Roststäbe von der in Figur 86 dargestellten Construktion zu empfehlen, welche den auf Seite 179 und 180 gegebenen Erläuterungen für schrägliegende Roste entsprechen.

Fig. 86.



4. Rost mit schräg ansteigenden Rippen.

Da diese Rostconstruktion auf einer Begriffsverirrung beruht, so wird weder der Erfinder derselben, noch die Patentnummer genannt. Der Erfinder ist der Meinung, ein Rost von der in Figur 87 dargestellten Construktion biete die Möglichkeit, mehr Luft in die aufgeschüttete Brennmaterialmasse einzuführen als ein gewöhnlicher Planrost, bei welchem (nach Angabe der Patentschrift) ungefähr die Hälfte der Rostfläche von den Roststäben selbst eingenommen und der übrige Durchgang noch durch angehäufte Kohlenstücke behindert werde.

Fig. 87.



Nach der in Figur 87 dargestellten Construktion besteht der Rost aus Platten von stumpfwinkligem Querschnitt, von welchem der eine Schenkel wagerecht liegt und der andere schräg nach oben gerichtet ist. Die Breite der Schlitze c zwischen diesen Rostplatten ist derart bemessen, dass das über den oberen Kanten der schrägen Schenkel befindliche Brennmaterial beim Herabsinken vermöge seiner natürlichen Böschung nicht bis in die Schlitze hineinrollen kann.

Fig. 88.

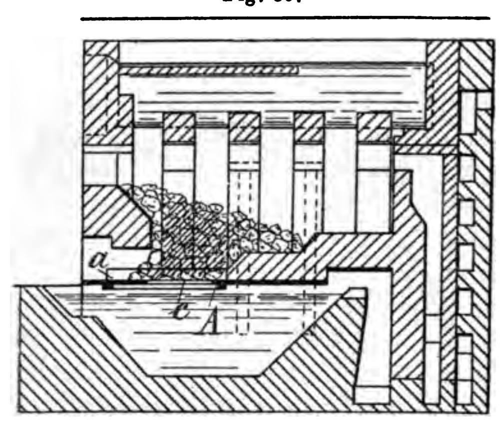


Um das Irrige der Ansicht des Erfinders recht augenscheinlich darzulegen, sei auf die in Figur 88 dargestellte Rostconstruktion hingewiesen, bei welcher die wagerechten Schenkel vollständig fehlen und welche demnach (der Meinung des Erfinders entsprechend) wohl noch mehr Luft in die Brennmaterialmasse einströmen lassen müsste als seine Rostconstruktion. Der freie Querschnitt in der Luftbewegungsrichtung wird aber dabei doch nicht grösser als bei einem

aus gewöhnlichen Roststäben zweckmässig gebildeten Planrost.

Man könnte der Einrichtung noch einen gewissen Sinn beimessen, wenn der Erfinder die Beschüttung seines Rostes nur wenig über die Kanten der schrägen Schenkel desselben erhöhen würde; in diesem Falle wäre wenigstens der Widerstand, der sich der Luft beim Durchströmen der Schüttung darbietet, geringer als sonst; aber, wie ein Blick auf die der Patentschrift entnommene Figur 89 belehrt, soll über dem Roste eine so hohe Anhäufung von Brennmaterial erfolgen, dass der Rosthöhe nur ein verschwindend geringer Einfluss auf die Verminderung des besagten Widerstandes zufallen kann.

Fig. 89.



Die Einrichtung besitzt aber auch direkt Mängel, welche ihre Empfehlung verbieten. Zunächst übt die grosse von Brennmaterial bedeckte Eisenfläche, insbesondere bei grosser Nähe eines Wasserbades, einen nicht unbedeutenden wärmeableitenden Einfluss aus; ausserdem kann die sich aus dem Brennmaterial abscheidende Asche nicht durch die Rostschlitze hindurchfallen und vermindert sehr bald den Luftzug, und endlich lässt sich der Rost nur sehr schwer entschlacken, ohne eine Menge Brennmaterial durch die breiten Rostschlitze hindurch zu stossen.

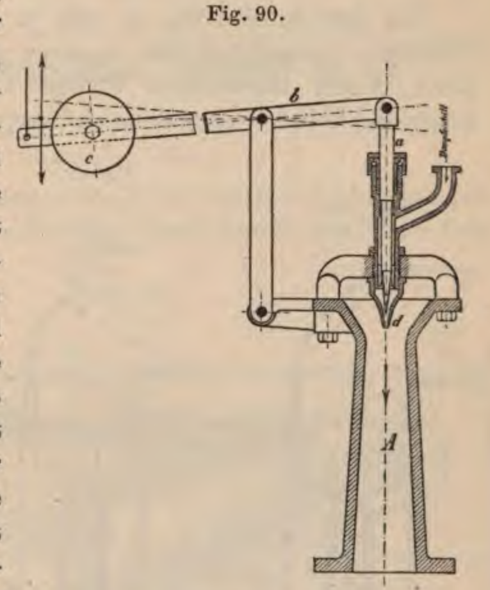
VI. Selbstthätige Luftzug-Regulirapparate.

1. Luftzug-Regulator für Gasgeneratorbetrieb von Oscar Schmidt in Berlin.

(Patent Nr. 55 997.)

Der in Figur 90 dargestellte Apparat ist dazu bestimmt, die Einströmung eines Dampf- und Luftgemisches in die in einem Gasgenerator aufgehäufte Brennstoffmasse, dem Gasverbrauch entsprechend, zu reguliren und zwar speciell in solchem Fall, in welchem die Generatorgase in einem Behälter angesammelt und aus diesem an die Bedarfstelle abgeleitet werden. Der Gewichtshebel *b*, durch dessen Einwirkung die Spindel *a* angehoben und die Dampfausströmung aus der Düse *d* ermöglicht wird, ist mittels einer Schnur mit der Glocke des Gasbehälters derart verbunden, dass er angehoben wird wenn diese sich hebt. Der aus der Düse in das conische Rohrstück *A* einströmende Dampf reisst atmosphärische Luft mit sich in letzteres und in den luftdicht abzuschliessenden Aschenfallraum des Generators hinein. Wird bei anwachsender Füllung des Gasbehälters der Gewichtshebel von der steigenden Glocke dieses Behälters angehoben und dadurch der Dampfaustritt aus der Düse *d* vermindert, so vermindert sich auch die Lufteinströmung in das Rohrstück *A* und in den Aschenfallraum des Generators und infolge dessen soll dieser weniger

Fig. 90.

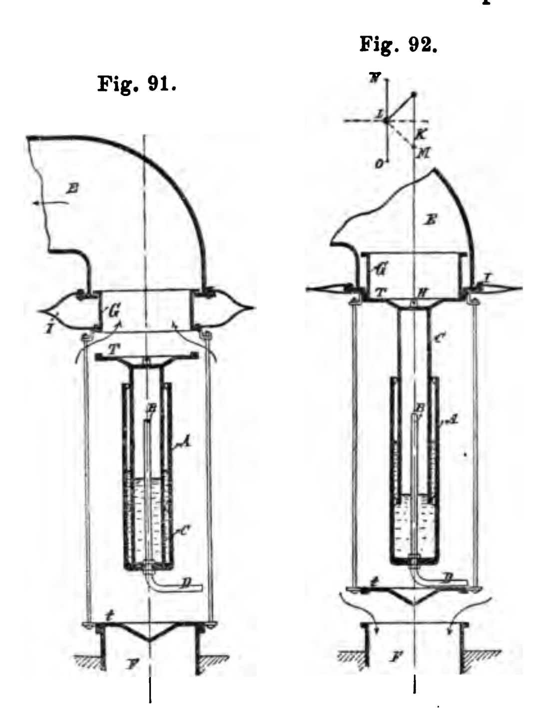


Gas liefern. Besonders energische Wirkung ist von einem derartigen Regulator nicht zu erwarten, da es ziemlich lange dauern wird bis die verminderte Lufteinführung sich bemerkbar macht, wenn der Generator vorher stark in Betrieb war.

2. Luftzugregulator für Dampfkesselfeuerungen von Henry Ernst Schmidt in Berlin.

(Patent Nr. 54563.)

Bei dem in den Fig. 91 und 92 in zwei verschiedenen Stellungen veranschaulichten Apparat wird der im Cylinder *A* durch Wasser abgedichtete Plunger *C* von dem Druck des durch das Rohr *D* einströmenden Dampfes mehr oder weniger gehoben, wobei der vom Plunger *C* getragene Ventilteller *T* die Lufteinströmung in das Rohr *E* mehr oder weniger vermindert, indem er dessen Einströmungsöffnung mehr oder weniger verengt. Das Rohr *E* leitet die Luft in den luftdicht abgeschlossenen Aschenfallraum der Feuerungsanlage. Wächst der Dampfdruck noch weiter, nachdem der Ventilteller *T* gegen den Rohrstutzen *G* angedrückt ist und dadurch den Zutritt von Luft zu dem Rohr *E* voll-



ständig abgeschlossen hat, so hebt der Dampfdruck den Rohrstutzen *G* selbst an und mit demselben auch den Ventilteller *t*, welcher in den Zugkamin oder in die Feuerzüge direkt einmündet, so dass dann kalte Luft in den ersteren oder in letztere einströmt und rasche Dämpfung des Feuers bewirkt.

Die Abdichtung zwischen dem Rohr *E* und dem Rohrstutzen *G* wird durch eine biegsame Doppelmembrane *I* bewirkt.

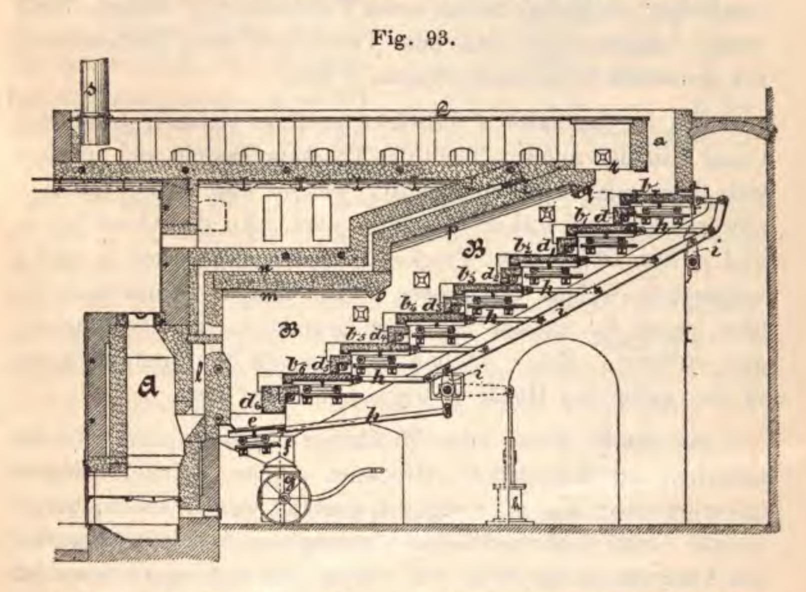
VII. Feuerungsanlagen besonderer Art.

1. Dörr- und Trockenofen von Eugen Langen in Köln.

(Patent Nr. 47 041.)

Der in Fig. 93 dargestellte Ofen besitzt drei Abtheilungen, den links unten gezeichneten Gasgenerator (einfacher Con-

Fig. 93.



struktion) *A*, den Dörr- oder Trockenraum *B* und eine Vortrocken-Horde *C* über einem breiten Raum, durch welchen die

Gase, die den Dörr- oder Trockenraum verlassen, hindurchströmen, um nach dem Kamin *s* zu gelangen. Die Sohle des Dörr- oder Trockenraumes *B* wird von Stufen d, d_1, d_2, . . . d_6 und Schiebern b, b_1, b_2, ... b_6 gebildet. Die letzteren werden gleichzeitig vermittels eines Gestänges *i h* durch eine Wassersäulenmaschine *k*, welche schnellen und langsamen Gang, sowie grossen und kleinen Hub gestattet, vorwärts und rückwärts bewegt.

Das auf der Horde *C* vorgetrocknete Gut wird in den Schacht *a* geschaufelt, durch welchen es auf den ersten Schieber *b* gelangt. Wird dieser zurückgezogen, so fällt das auf seinem Vorderende liegende Dörr- oder Trockengut, über der Stufe *d* sich überstürzend, auf den Schieber b_1, dessen Zurückziehen ein Niederfallen des auf seinem Vorderende liegenden Dörr- oder Trockengutes, mit Ueberstürzung über die Stufe d_1, auf den Schieber b_2 zur Folge hat u. s. f., bis das Dörr- oder Trockengut auf dem Schieber *e* ankommt, dessen Laufrollen zu beiden Seiten eines Fülltrichters *f* laufen, durch welch' letzteren das Dörr- oder Trockengut beim Zurückziehen des Schiebers *e* in einen Wagen *g* fällt.

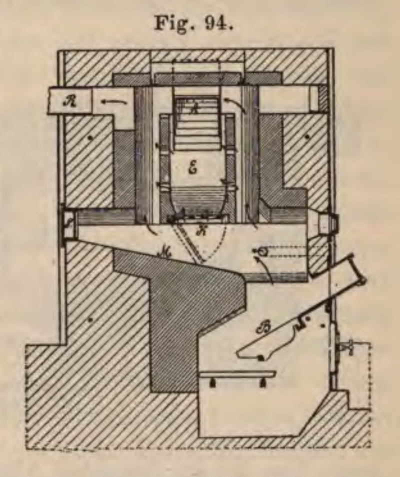
Die im Generator *A* entwickelten Gase strömen durch den Canal *l* in den unteren Theil des Trockenofens ein und mischen sich hier mit Verbrennungsluft, welche durch den Canal *n* abwärtsströmend vorher vorerhitzt wird. An den Gewölben *m* und *p* des Dörr- oder Trocken-Raumes sind Nasen *o* und *q* vorgesehen, welche veranlassen sollen, dass die Verbrennungsgase gegen das auf den Schiebern liegende Dörr- oder Trockengut strömen. Bei *r* endlich strömen die Verbrennungsgase in den unter der Horde *C* liegenden Raum ein.

In einem Dörr- oder Trockenofen solcher Art können natürlich nur Materialien getrocknet werden, welche entweder unverbrennbar sind oder zugleich geröstet werden sollen, wobei es auf etwas Anbrennen nicht ankommen darf, da entweder die Temperatur im Ofen für andere Materialien zu hoch ist oder die Verbrennung der Generatorgase in demselben sehr unvollkommen vor sich geht.

2. Verbrennungsöfen für Cadaver.

Für kleine Thierleichen, sowie auch für Verbandstoffe, Excremente und Fleischabfälle wird von H. Kori in Berlin der in Fig. 94 dargestellte Verbrennungsofen empfohlen, in dessen Schacht *E* die zu verbrennenden Gegenstände durch eine seitlich angeordnete verdeckbare Rinne *A* eingeworfen werden, nachdem zuvor die Klappe *K*, welche von Aussen drehbar ist, in die gezeichnete wagerechte Lage gebracht ist. Das auf dem Rost *B* entfachte Feuer erhitzt zunächst den Ofenraum und die Verbrennungsgase strömen theilweise durch den Schacht *E* hindurch und theilweise um denselben herum nach dem Fuchs *R*. Auf diese Weise werden die im Schacht *E* angesammelten Gegenstände zunächst ausgetrocknet. Ist dies geschehen, so wird die Feuerung verstärkt und die Klappe *K* in die punktirte Lage gedreht, so dass die aufgesammelten und vorgetrockneten Gegenstände allmählich auf die Sohle *M* fallen, von wo sie von Zeit zu Zeit durch die bei *S* vorgesehene Thüröffnung in den Feuerraum selbst hinabgestossen werden. Nach Kori's Angabe können hierbei, bei fortdauernder Feuerung 100 Kgr. kleine Thierleichen und Fleischtheile durch Verfeuerung von etwa 20 Kgr. Kohle binnen 2 Stunden zu Asche verbrannt werden.

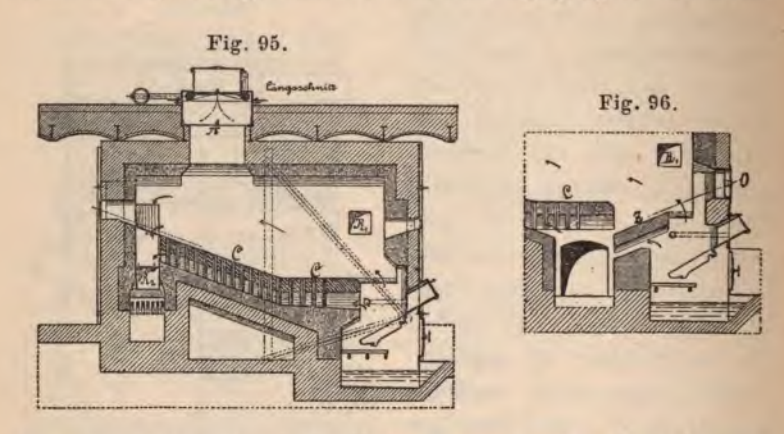
Fig. 94.



Für die Verbrennung grösserer Thierleichen wird ein Verbrennungsofen von der in Fig. 95 (S. 256) dargestellten Einrichtung empfohlen. Die Thierleichen werden hier durch die Oeffnung *A* auf ein mit zahlreichen Durchbrechungen versehenes Gewölbe *C* geworfen, welches zum grössten Theil

schräg ist, um ein Vorwärtsstossen der Leichen von hinten her zu ermöglichen, in unmittelbarer Nähe des rechts liegenden Hauptfeuerschachtes aber wagerecht verläuft, damit bei dem Vorschieben keine grösseren Körper in den Feuerschacht selbst hineinfallen können. Das durchbrochene Gewölbe überdeckt einen oder mehrere parallellaufende Hilfsfeuerzüge. Zum Anheizen und Vortrocknen der Thierleichen wird die linksgezeichnete Feuerstelle benutzt. Die Feuergase strömen dann in einer den gezeichneten Pfeilen entgegengesetzten Rich-

Fig. 95. Fig. 96.



tung dem bei R_1 liegenden Abzugscanal zu. Ist die Vortrocknung beendet, so wird der Abzugscanal R_1 geschlossen und der Abzugscanal R_2 geöffnet, während zugleich in der rechts unten gezeichneten Feuerstelle geheizt wird. Das Verbrennen grosser Thierleichen stellt sich nach Kori ungefähr 2mal so theuer, als das Verbrennen kleiner Thierleichen und Fleischtheile und zwar wahrscheinlich deshalb, weil unzerlegte grosse Thierkörper nicht so rasch ausgetrocknet werden können wie zerlegte und kleine Körper.

Soll die blendendweisse Asche und etwa auch ein der vollständigen Verbrennung zu entziehender Knochenrückstand für besondere Verwendung zurückbehalten werden, so wird der Vordertheil des Ofens in der in Figur 96 dargestellten Art gebaut, die abzusondernden Massen werden dann auf das schräge Zwischengewölbe Z gestossen und von der

vorderen Bedienungsstelle O aus wird von Zeit zu Zeit theilweise Räumung dieses Gewölbes vorgenommen.

Der Aschenrückstand wird in England als Wegbaumaterial, zur Herstellung künstlicher Steine und angeblich auch zu Schmuckgegenständen verwendet.

3. Verbrennungsofen für Kehricht und Abfälle aus Markthallen etc.

Die verbrennbaren Theile des Kehrichts müssen natürlich in erster Linie von Sand, Asche und groben nichtbrennbaren Theilen gesondert werden. Sie sowohl wie Marktreste und dergl. werden dann zunächst so weit als möglich vorgetrocknet und darauf erst in den Verbrennungsofen hineingeworfen. In diesem aber muss dem Verbrennen zunächst noch ein Darren vorausgehen. Geschieht dies in rationeller Weise, so besitzen die zur Verbrennung kommenden Materialien so viel eigenen Brennwerth, dass ein sehr geringer oder überhaupt gar kein Zusatz von anderem Brennmaterial zu ihrer Einäscherung nöthig ist nachdem die Verbrennung einmal in Gang gesetzt ist. Die Einrichtung eines hierzu geeigneten Ofens, wie sie von H. Kori in Berlin ausgeführt wird, ist aus den beiden Fig. 97 und 98 zu ersehen. Der Ofen besteht aus dem Verbrennungsraum A, in welchem die Verbrennung erfolgt und in zwei Nebenräumen A_1 A_2, in welchen die Ver-

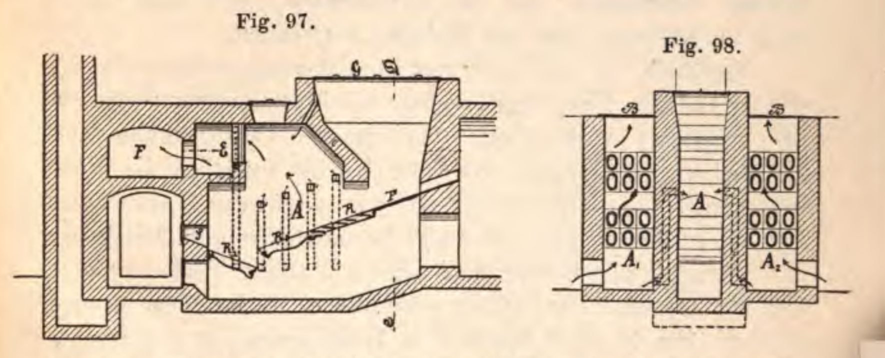


Fig. 97. Fig. 98.

brennungsgase eine Anzahl eiserner Röhren durchziehen, während atmosphärische Luft an denselben vorbeistreichend er-

hitzt wird. Diese beiden Nebenräume sind mit Eisenplatten *B* überdeckt, auf welchen die zu verbrennenden Materialien vorgetrocknet werden. Ein Theil der Luft, welche sich in diesen Nebenräumen erhitzt, strömt als sekundäre Verbrennungsluft in den dazwischen liegenden Verbrennungsraum *A* ein. Dieser letztere enthält, wie Fig. 97 erkennen lässt, eine Platte (*P*), auf welcher die zu verbrennenden Materialien vorerhitzt werden, einen Treppenrost *R*, auf welchem dieselben verkohlt werden und einen an den Treppenrost sich anschliessenden schrägen Planrost R_1, auf welchem die Verbrennung der verkohlten Materialien vor sich geht. Unter diesem Planrost, entgegengesetzt geneigt, liegt ein anderer Planrost R_2, auf welchem während der Anheizzeit Kohle oder anderes Brennmaterial verbrannt wird; die Bedienung dieses Rostes erfolgt von der Thür *S* aus.

Wird die Wärme der durch die Röhrensysteme der beiden Nebenkammern A_1, A_2 strömenden Verbrennungsgase nicht vollständig für die Vortrocknung der zu verbrennenden Materialien aufgebraucht, so kann die überschüssige Wärme noch in verschiedener anderen Weise nutzbar gemacht werden, beispielsweise dadurch, dass man durch die beiden Kammern reichliche Mengen Frischluft strömen lässt, um sie, zum Zweck der Einführung in zu beheizende Räume, vorzuwärmen; man kann auch die Anzahl der in diesen Kammern liegenden Röhren vermindern und die abziehenden Verbrennungsgase noch an anderem Orte zur Heizung verwenden.

Natürlich ist bei einer solchen Feuerungsanlage, ebenso wie in anderen Feuerungsanlagen, aus ökonomischen Gründen für möglichst vortheilhafte vollkommene Verbrennung der Materialien zu sorgen, welchem Zweck zunächst die Vortrocknung, die Vorerhitzung und die vorgängige Verkohlung dienen; ausserdem aber ist auch für möglichst gute Mischung der Feuergase miteinander und mit der nöthigen Verbrennungsluft zu sorgen. Die letztere Absicht wird bei dem dargestellten Ofen in einer besonderen Mischkammer *E* angestrebt, deren Vorderwand aus einer Anzahl hohler, mit zahlreichen kleinen Löchern versehener, senkrecht stehender Thonbänke

(aus feuerfestem Thon) besteht, zwischen welchen die Feuergase hindurchströmen, während denselben vorerhitzte Verbrennungsluft aus den Löchern der Thonbänke, sowie aus zwei grösseren Oeffnungen am Fusse der letzteren zuströmt. In der Kammer *E* findet alsdann eine erste Mischung und in einer engen Mauer-Oeffnung, zwischen dieser Kammer und der Vertheilungskammer *F*, eine Vervollständigung der Mischung statt, während die Verbrennung der Feuergase in der geräumigen Vertheilungskammer *F* selbst beendet wird.

Leipzig,
Walter Wigand's Buchdruckerei.

